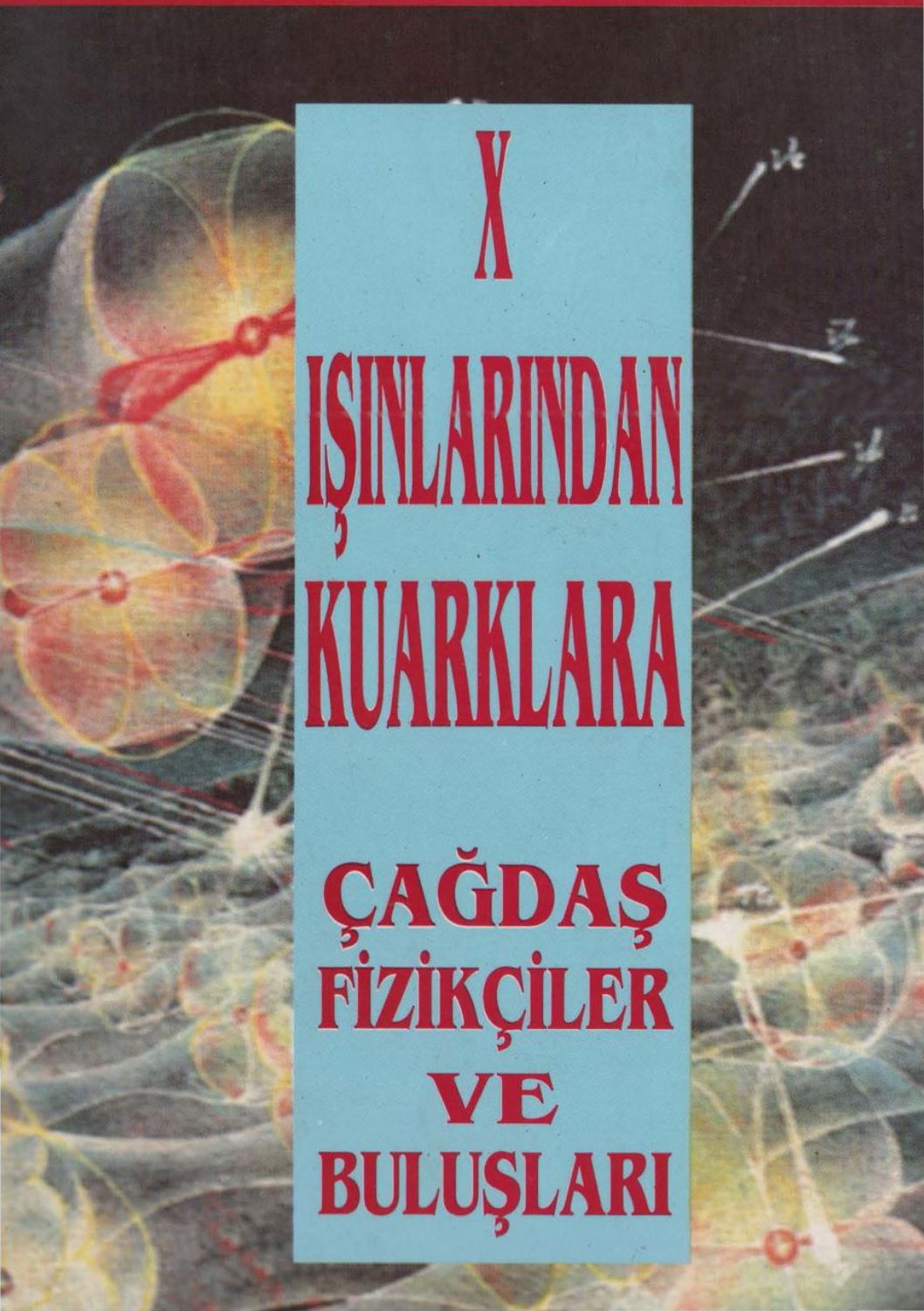
EMILIO SEGRÈ



X IŞINLARINDAN KUARKLARA

ÇAĞDAŞ FİZİKÇİLER VE BULUŞLARI

Matematik ve fizik sözcükleri alan dışından insanlarda genellikle anlaması ve hoşlanılması zor kavram anıları çağrıştırır. Okul sıralarındayken öğretmenlerim fırsat buldukça bilimi "kuru" bir konu olarak niteler, birçok öğrenci de bunu onaylardı. Bir matematik formülünü basılı görmek akıl erdirilemezliğin hatta büyünün kesin işaretiydi. Şimdi bile bilim uğursuz işler yapmakla sık sık suçlanmakta, yaptığı iyi işler unutulmaktadır.

Bu olumsuz görüşlere karşın, bilimsel araştırma sanatsal yaratım kadar büyüleyici, dramatik ve insan ilgisiyle dopdoludur. Ama, edebiyat ya da sanat dallarında önem verilen tarihsel ve özyaşamsal yönlerin pek çoğu bilim öğretiminde ihmal edilmektedir. Bunun olası nedeni bilimin birikimci karakteridir. Newton olmasaydı da, birisi kalkülüsü bulur kütle çekimini keşfederdi, ama Shakespeare'sız Hamlet olmazdı. İşte bu yüzden Shakespeare'ın hayatını öğrenmek Newton'unkinden daha haklı görülmektedir.

Bununla birlikte, fiziğin de zengin insansal bileşenleri olduğuna inanıyorum ve burada asıl bu ögeyi betimlemek istiyorum. Kendimi fizikle sınırlandırıyorum çünkü bu alanda doğrudan bilgi sahibiyim. Umarım bu yakınlık, fiziğin gerektirdiği bazı esinlenmeleri, yaratıcı çabayı ve dramayı aktarabilmeme olanak sağlar.

Bu kitapta bu yüzyılın bazı büyük fizikçilerinin kişiliklerini ve başarılarından bazılarını herkes tarafından anlaşılabilir yapmayı deneyerek aktarmaya çalışacağım. Biraz iyi niyetle ve biraz eksiklikli bu mümkündür. Salt meslekdaşlar için anlaşılabilir ve teknik olmaktan kaçınacağım. Okuyucular, arada bir, çok zor buldukları birkaç sayfayı ipin ucunu kaçırmadan atlayabilirler.

Hiç unutmamalıyız ki bilimsel gelişmelerin çoğu, tarlayı hazırlayan ve asıl çapalama işini yapan emekçi kalabalığın katkılarıyla sağlanmıştır. Bu insanlar çoğunlukla bilinmez ya da bireyler olarak unutulmuştur, fakat topluca gereklidirler. Dahası, bilimsel olaylar birbiriyle ilintilidir ve zaman ya da uzay içinde birbiriyle örtüşebilir. Çok yakından izlenecek olursa bu girişik karşı nağme insanı karışıklık ve şaşkınlığa götürebilir. Bu yüzden, sıkı zaman sıralamasını harcamak pahasına olayların genel eğilimini izlemeyi seçtim.

EMILIO SEGRÈ

SARMAL YAYINEVİ

Babıali caddesi Pak Han no: 16 kat. 4 Cağaloğlu - istanbul

tel: (0212) 522 45 78 - 512 70 20 Fax : 522 45 78

Türkçesi : Çağlar Tuncay

1.Baskı : Ocak 1995

Dizgi: Sarmal Dizgi

Baskı: Kayhan matbaası

Çilt: Dost Mücellithanesi

Emilio Segrè

x-Işınlarından kuarklara

Çağdaş Fizikçiler ve Buluşları

İçindekiler

Önsöz IX

1 Giriş 1895'de fizikçilerin dünyası. Yeni ufuklar. 1
Pieter Zeeman. Joseph John Thomson. Wilhelm Conrad Röntgen.

Bölüm 2 H. Becquerel, Curieler ve Işımaetkinliğin Bulunuşu 25
Becquerel'in "yazgısal" keşfi. Curieler ve ileri doğru büyük bir adım.

Bölüm 3 Rutherford Yeni Dünya'da: Ögelerin Dönüşümü 45
Rutherford'un ilk uğraşları. Işımaetkinlik araştırmaları. Müritler ve dönüşümün bulunuşu.

Bölüm 4 Planck, Arzulanmamış Devrim: Paketçik Düşüncesi 54
Fiziğin kuramsal dayanakları. Kuşatıcı bir sorun: karacisim. Max Planck.

Bölüm 5 Einstein - Düşünmenin Yeni Yolları: Uzay, Zaman, Görelilik ve Paketçikler 75
Uzlaşmasız bir gençlik. Görelilik. Işık tanecikleri v e molekül çar pışmaları. Patent ofisinden evrensel üne. Dünyanın düzeni çöküyor ve uzay bükülüyor. Einstein'ın son yılları ve yalnızlığı.

Bölüm 6 Sir Ernest ve Nelson'lu Lord Rutherford 98

İngiltere'ye dönüş. Alfa parçacığına yeni aydınlatma. Atom çekirdeği. Gezegensel atom. Aynı ama ayrı: eşillik kavramı. Çekirdeğin bozunumu. Cavendish İşliği'nin Yöneticisi.

Bölüm 7 Bohr ve Atom Modelleri 116

Genç Bohr ve hidrojen atomu. X - ışınlarının kökeni. Paketçil atomun kurulması. Weimar ve Kopenhag fiziği. Dışında tutma ilkesi.

Bölüm 8 Sonunda Doğru Pakctçik Devinbilimi 145

Louis de Broglie: madde dalgaları. Werner Heisenberg ve Wolfgang Pauli: gizemli matrisler. Paul Adrien Maurice Dirac: soyutlama ve matematiksel güzellik. Erwin Schrödinger. Eşitliklerin anlamı. Gerçeğe yeni bir bakış: bütünleyicilik. Gizemler açıklanır, ama kuşkular kalır.

Bölüm 9 Harika Yıl 1932: Nötron, Pozitron, Döteryum ve Diğer Buluşlar 171

Nötronun bulunuşu. Döteryumun bulunuşu. Pozitron. Yeni çekirdek fiziği.

Bölüm 10 Enrico Fermi ve Çekirdek Enerjisi 195

Romadaki buluşlar. Parçalanmanın bulunuşu. Atom bombasına doğru. Uranötesi ögeler. Gezgin fizik. Bombanın sonuçları. Fermi'nin son çalışması.

Bölüm 11 E. O. Lawrence ve Parçacık İvmelendiricileri 218

Büyük ölçekli fizik. İlk ivmelendiriciler. Lawrence ve siklotron. Politikalar ve kişilikler. Erişilmemiş yüksek enerjiler için yarış.

Bölüm 12 Çekirdeğin Ötesi 236

Temel parçacıklar. Japonya'da yeni bilim.

Piyon'un bulunuşu. Yeni parçacıkların soykütüğü.. Karşıt çekirdekler. Eşdeğerliğin çöküşü. Kabarcık odası. Vahşilikteki düzen.

Bölüm 13 Yaşlı Gövdenin Yeni Dalları 265

Paketçik elektrodinamiği. Lazer ve mazer. Çekirdek fiziği. Mössbauer etkisi. Üstüniletkenlik. Gözle görülür öteki paketçik etkileri. Fiziğin sınırlarında; gökfiziği, yaşambilim. Şaşkın bilimci.

Bölüm 14 Sonuçlar 286

Geleceğin eğilimleri. Fiziğin içgizleri.

Ekbilgiler

1. Stefan yasası. Wien yasası 295
2. Planck'ın karacisim ışıması formülü için avlanması 297
3. Einstein'ın ışık paketçiğinin varlığını öngörmeye yolaçan varsayımları 300
4. Browncil devinim 302
5. Einstein'a göre karacisim enerji değişimleri 304
6. Einstein'a göre katıların özısıları 307
7. Einstein'ın A ve B'si 308
8. J. J. Thomson'un iyonların e/m'sini bulmak için parabol yöntemi 310
9. Bohr'un hidrojen atomu 311
10. Fındık kabuğundaki paketçik fiziği 315

Kaynakça 319

Sözlükçe 329

Önsöz

Bu kitap Kaliforniya Üniversitesi, Berkeley, Şikago Üniversitesi'nde ve Romadaki Accademia dei Lincei'de verdiğim derslere dayanır. Dersleri basılı görmeye ilişkin dinleyicilerden aldığım övgü yüklü ricalar, notları toplayıp baskıya vermem için beni ikna etmişti.

Dersleri fizikçilerin dünyasını merak edenlere yöneltmiş ve bir başka alandan yakın bir arkadaşımaymış gibi anlatmayı amaçlanmıştım. Başka bir deyişle, sadece temel buluşları değil ama onları ele geçirme yollarını, öncü fizikçilerin kişiliklerini ve doğru yollar bulunmadan önce yapılan yanlışlıkları da sergilemeye çalıştım. İnsanlık yönleri ve olaylar silsilesi dramlarla doludur.

Deneyimler bana göstermiştir ki birçok genç bilimci önemli bilimcilerin bazı buluşlara iliştirilmiş adlarındansa kişilikleri hakkında daha çok şey bilmeyi arzuluyor. Umarım bu kitap böylesine hak edilmiş bir merakı kısmen de olsa doyurabilecektir.

Kitap, hiçbir biçimde modern fizik tarihi ya da küçük bir fizik metni olmaya öykünmemiştir. Daha çok yaklaşık 1927'de başlayan bilimsel uğraşım boyunca gözüme çarpan olayların izlenimci bir görünüşüdür. Doğallıkla, bunlar bağlam dışında tutulamazdı ve bu yüzden konuya ilişkin öykü de hemen başlar. Kişilerin seçimi ve konuların ele alınışı da aynı nedenle özneldir, sınırlıdır ve kişisel deneyimimle renklendirilmiştir.

Bn. Laura Fermi, Profesör J. Heilbron ve bazı çağdaşlarımla çalışma arkadaşlarıma eleştiri ve önerilerinden ötürü minnettarım. Profesör F. Rasetti, Solvay Enstitüsü, CERN, Californiya Teknoloji Enstitüsü, Lawrence Berkeley İşliği ve diğerlerine resimler için teşekkür ederim.

Ocak 1980 Emilio Segré

1

Giriş

Matematik ve *fizik* sözcükleri alan dışından insanlarda genellikle anlaması ve hoşlanılması zor kavram anıları çağrıştırır. Okul sıralarındayken öğretmenlerim fırsat buldukça bilimi "kuru" bir konu olarak niteler birçok öğrenci de bunu onaylardı. Bir matematik formülünü basılı görmek akıl erdirilemezliğin hatta büyünün kesin işaretiydi. Şimdi bile bilim uğursuz işler yapmakla sık sık suçlanmakta, yaptığı iyi işler unutulmaktadır.

Bu olumsuz görüşlere karşın, bilimsel araştırma sanatsal yaratım kadar büyüleyici, dramatik ve insan ilgisiyle dopdoludur. Ama, edebiyat ya da sanat dallarında önem verilen tarihsel ve özyaşamsal yönlerin pek çoğu bilim öğretiminde ihmal edilmektedir. Bunun olası nedeni bilimin birikimci karakteridir. Newton olmasaydı da, birisi kalkülüsü bulur kütleçekimini keşfederdi, ama Shakespeare'siz *Hamlet* olmazdı. İşte bu yüzden Shakespeare'ın hayatını öğrenmek Newton'unkinden daha haklı görülmektedir.

Bununla birlikte, fiziğin de zengin insansal bileşenleri olduğuna inanıyorum ve burada asıl bu ögeyi betimlemek istiyorum. Kendimi fizikle sınırlandırıyorum çünkü bu alanda doğrudan bilgi sahibiyim. Umarım bu yakınlık, fiziğin gerektirdiği bazı esinlenmeleri, yaratıcı çabayı ve dramayı aktarabilmeme olanak sağlar.

Bu tarihsel yönler fizikçi olmayanları da ilgilendirmelidir. Sıkça ve olasılıkla doğru söylendiği üzere, bilim için 19. ve 20. yüzyıllar Rönesans'ın sanat için olduğu kadar parlak ve eşsiz bir dönemdi. Michelangeloların ya da Shakespearelerin bir çağdaşı olma şansına sahip kişi bunu salt yapıtlardan kavranabilenin ötesinde bir yakınlık ve acıyla anımsayabilir. Her ne kadar bilimsel yeniden doğuşun büyük simgelerinden biri, Marie Curie, "En science nous devons nous intéresser aux choses, non aux personnes" [Bilimde nesnelerle ilgilenmeliyiz, kişilerle değil.] demişse de, bu yargının çok katı olduğuna inanıyorum.

Bu kitapta bu yüzyılın bazı büyük fizikçilerinin kişiliklerini ve başarılarından bazılarını herkes tarafından anlaşılabilir yapmayı deneyerek aktarmaya çalışacağım. Biraz iyi niyetle ve biraz eksiklikle, bu mümkündür. Salt meslekdaşlar için anlaşılabilir ve teknik olmaktankaçınacağım. Okuyucular, arada bir, çok zor buldukları birkaç sayfayı ipin ucunu kaçırmadan atlayabilirler.

Yine de, biraz fizik bilgisi gereklidir. Michelangelo'ın Davud'una hepimiz bakabilir ya da Hamlet'i okuyabilirken, biraz hazırlık olmadan Schrödinger eşitliğini ya da ışık paketçiğinin ikili doğasını anlamak olası değildir. Matematiksel bağıntılar konuyu kolaylaştırır. Galileo'nun belirttiği gibi, matematik fiziğin doğal dilidir,Volta ve Faraday da büyük fiziklerini yazarken biçimsel bir matematik dili kullanmadılarsa da matematiksel düşündüler ve genel matematik bilgisizlikleri onları birzacık, ama çok değil, zor anlaşılır yaptı.

Hiç unutmamalıyız ki bilimsel gelişmelerin çoğu, tarlayı hazırlayan ve asıl çapalama işini yapan emekçi kalabalığın katkılarıyla sağlanmıştır. Bu insanlar çokluk bilinmez ya da bireyler olarak unutulmuştur, fakat topluca gereklidirler. Dahası, bilimsel olaylar birbiriyle ilintülidir ve zaman ya da uzay içinde birbiriyle örtüşebilir. Çok yakından izlenecekolursa bu girişik karşınağme (Ç.N. 1) insanı karışıklık ve şaşkınlığa götürebilir. Bu yüzden, sıkı zaman sıralamasını harcamak pahasına olayların genel eğilimini izlemeyi seçtim.

1895'de Fizikçilerin Dünyası

Öykümüze 1895 dolaylarında başlamamız doğaldır çünkü o tarih dolaylarındaki iki ya da üç yıl içinde fizik kesin bir dönemeçteydi: birkaç deneysel keşif atomik dünyanın mikroskopik değerlendirmesini açtı. Kimyacılar en azından bir yüz yıldır atomları biliyordu ve gazların kinetik kuramı sayesinde fizikçiler doğru atomik düşüncelerden yararlanıyordu, ama atomik bileşim ve yapı hakkında hiçbir şey bilinmiyordu.

Atomik yapı bilgisinin açımlanmaya başladığı Batı dünyasında İngiltere, Fransa ve Almanya bilimin üç önderiydi. Bu üç büyük güç, farklı siyasal ve toplumsal koşullar içindeydi. Victoria Regina'nın yönetimindeki İngiltere görkemin doruğundaydı ve imparatorluktu. 1837'den beri tahtta oturan kraliçe, 1876'da Hindistan'ın İmparatoriçe'si olmuştu. 1887'deki ellinci yıldönüm kutlamaları, ülkenin ona bağlılığı ve onun egemenliğinin altında bulunmanın kıvancı gösterisine dönüştü. Son elegeçirilen topraklarla 6.500.000 kilometre karelik zenginliğe ulaşan Biritanya, görkemli yalıtılmışlığıyla "dalgalara hükmet"mekteydi.

Fransa, halkının öz-hayaline (=self-image) ve benliğine müthiş bir darbe vuran 1870, 71 Fransız-Prusya savaşındaki yenilgilerin acısıyla hâlâ yanıyordu. Fransanın moral

(Ç.N. 1) Müzik deyimi, konturpuan=counterpoint. Tümüyle Batı müziğine özgü, iki ya da daha çok melodi çizgisini teknik ve estetik ölçütlere uygun olarak birleştirme sanatı.

çöküntüsü Pasteur ve öteki Fransız bilimcilerin savaşın yıkımlarına karşı gösterdiği tepkiden ölçülebilirdi. Acılı, derin köklü ulusalcılıklarına sarınmış olarak Fransa'nın yenilgisini bilimin son elli yılda ihmal edilişine bağlıyor ve Devrim ve Napoleon savaşları sırasında ülke savunmasında bilimin oynadığı rolü gururla anımsatıyorlardı. Pasteur bilim sayesinde Fransa'nın eski haline getirilişini çabuklaştırabileceğini umuyordu.

Hızla tırmanan ve asker egemenliği altındaki Almanya, işgalci bir süreç başlatmıştı. Sivil ve askeri yetke(=otorite)ler arasında altmış yıldır süregelen uzun çekişmeler ne yazık ki askerlerin üstünlüğüyle çözülmüştü. Bismarck 1890'da vurulmuştu. Kaiser Wilhelm II (1859-1941) hükümdarlık için genç ve deneyimsizdi. Kendini çok zeki sanır -oysa değildi - Almanya'yı görkemle yönettiğine ve şanlı dönemlerine getirdiğine inanırdı. Birinci Dünya Savaşı çıkışında, "Ich führe euch herlichen Zeiten entgegen" [Sizi şanlı dönemlere götürüyorum] demişti. Onun değerlendirilmesi için bu kadarı yeter.

1895'in dünyasında uçak yoktu, çok az sayıda telefon ve biraz elektrik vardı. Okyanus buharlıgemi üstünde geçilebiliyordu, ama o zaman bile, atlantikötesi gemilerde buhar kullanılışından yetmiş beş yıl sonra buharlıgeminin yedek yelkenlerle donatılması zorunluydu. Posta, salt uzak yerler arasında değil ama kent içinde de haberleşmenin ana biçimiydi. Örneğin Paris, oldukça hızlı bir havalı posta düzenine sahipti: mektuplar bir borular ağı içinde basınçlı hava sayesinde gönderiliyordu. Sokaklar gaz lambaları ile ışıklandırılıyordu.

1895'de otomobiller yoktu; ama iki yıl sonra Ernest Rutherford Londra'da Crystal Palace'daki bir sergiyi gezdiğinde annesine şunları yazdı, "İlgimi asıl çeken nokta atsız arabalardı, ikisi yerde önümde çalışıyordu." Saatte yaklaşık 20 kilometrelik hızla hareket ediyor ama "müthiş zırıltılı bir ses" çıkartıyorlardı. Bununla birlikte, trafik kazaları otomobillerin yokluğunda bile arabaları çeken atların kontrolden çıkmaları sonucunda meydana gelirdi; birkaç yıl sonra, 1906'da, bilim en yüksek simgelerinden birini böyle bir kazada yitirecekti. Hava kirliliği yoktu ama sokaklar tıpkı bizim gaztepkimeli araçlarımızdan çıkan egzos kokuları gibi o zamanların taşımacılığının kaçınılmaz sonucu olarak gübre kokardı. Kentler şimdikinden daha küçük ve daha güzeldi, ama sağlık kuruluşları çoğunlukla yetersizdi.

Fizik işlikleri (Ç.N. 2) şimdi bizim sahip olduklarımızdan düzenleme ve donanım bakımından çok farklıydı. Çoğunca işlikte ikamet eden bir profesör ve onun bir iki yardımcısı olurdu. Şimdi bir enstitünün olanaklarını irdelerken ivmelendiricisinin enerjisine ve olasılıkladondurucu bölümünün soğutma kapasitesine bakarız. Ama 1895'de ivmelendiriciler ve dondurucu bölümler uzak gelecekteydi, yine de havanın sıvılaştırılması tecimsel ölçekte o yıl başarılacaktı.

Bir işliğin irdelenmesi bir bakıma da sahip olduğu bataryanın gücüne göre yapılırdı. O günlerin işlikleri deneyler için elektiriğe gerek duyar ama ana hatlardan elektiriği ana hatların nadiren varolması gibi basit bir nedenle çekemez, bu yüzden bod-

---

(Ç.N. 2) Yazar, parçacık (yüksek enerji) fiziği işliklerinden söz ediyor.

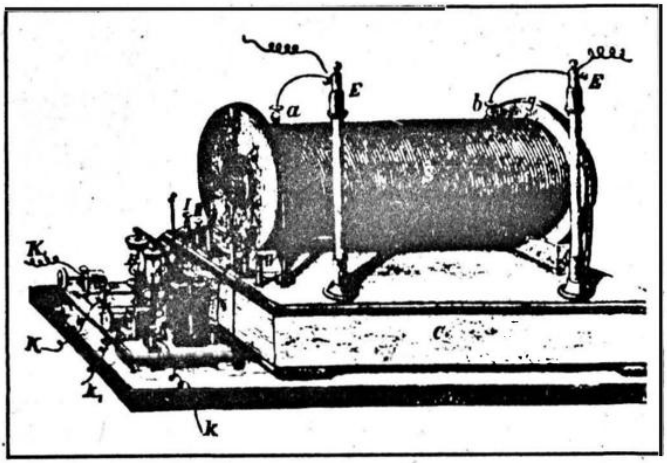
rumlarında batarya bulundururlardı. Batarya pillerin bir topluluğundan oluşur; pil sayısı ne kadar büyükse,kuruluşun statüsü de o kadar yüksek olurdu. 1800'deki Volta'nın ilk "elektirik pili"nden bu yana birçok pil türü geliştirilmişti. Tümü de aynı ilkeye dayanır ama çözücü sıvılarında ve elektrodlarındaki bireşim değişiklikleriyle birbirinden ayırt edilirdi. Birçok bilimse l işlik, yüksek gerilime (1,93 volta dek) çıkabilen ve güçlü akım verebilen Bunsen pilleri kullanırdı. Ama onları çalışır durumda tutabilmek başlı başına zor bir işti. Sülfirik ve nitrik asit içerir, bunlar da çinko anodu aşındırıp ağır ve çirkin kokular sızdırırlardı.

1863'de Adolphe Ganot tarafından basılan bir Fransız fizik ders kitabında Bunsen pillerinden oluşma bataryaların kullanımına ilişkin ayrıntılı öğütler vardır. (11 yaşımdayken beni fizikle tanıştıran bu kitabın İtalyanca basımıydı.) Onu, nu yakınlarda yeniden okuyuşumda, emir gibi keskin öğütleri dikkatimi çekti, bazı bölümlerini aşağıda çeviriyorum:

> *Su ve sülfürik asit karışımı önceden hazırlanmalıdır. ... Öncesuyu bir tahta tüpe dök, sonra hacmin onda biri kadar bayağısülfürik asiti ekle, böylece karışım 10-11 derecelik Baumé asitölçütünü gösterir. Baumé ölçütü yoksa, su yeterince asitlendirildiğinde ılıklaşır dil üstüne konan bir damlasına dayanılamaz. Piller ... çokkuru bir tahta masa üstüne konmalıdır. ... Sonra bir huni ile nitrikasiti içerideki gözenekli kaba yukarıdan iki santimetre kalacak kadarboşalt. ... Karbon içindeki sıkıştırıcı kesik koniler iyi temas sağlamakiçin zımpara kağıdıyla dikkatlice temizlenmelidir. ... Yukarıda bütüngözetilecek olan çinko levhaların amalgamlanmasıdır. Levha, pilkullanımda değilken asitli su içinde ıslıksı bir ses duyuluyorsaamalgamlanması gerekir ... asitli su buharlaşabilir hatta kaynayabilir.. Çinko levhaları amalgamlamak için... asitli su ve iki kilogram civabulunan bir çömlek içine birbiri üstüne koy ve üstlerine bir demir fırçayla sür.*

Zamanın önemli araçlarından biri, yüksek gerilim farklılıkları ve uzun kıvılcım üretmekte kullanılan Ruhmkorff (indüksiyon) makarasıydı (Resim 1.1). Araç silindirsi bir demir çekirdek etrafına sarılmış ve birbirinden yalıtılmış iki makaradan oluşur. Bir elektrik bataryası ilkmakarada bir akım üretir ve bu akım bir kesici ile tekrar tekrar durdulur. İlk akımın değişimleri ikinci makaranın uçlarında gerilim farklılığı yaratarak bir akım uyarır. İlk makara kalın tel ile bir kaç sarımdan yapılmışken ikincisi ince telli ve kilometrelerce uzayacak kadar çok sayıda sarımlıdır. Bu dönemin Londra Kıraliyet Enstitüsü'nde korunan büyük bir Ruhmkorff makarasının 450 kilometre uzunluğunda ikinci makarası vardır ve 10 metre uzunluğunda kıvılcım yapabilir. Böylelikle kıvılcım ların boyu, tıpkı bataryanın boyu gibi işliğin saygınlığına hizmet etmiş olurdu.

Boşlukların üretimi 100 yılı geçkindir fiziksel araştırmalarda baskındı ve atomun incelenmesindeki tüm gelişmeler boşluk teknolojisindeki gelişmelere bağlıydı. 1895'in işliklerinde ilkel pompalarla yaratılan boşluklar, çok gecikmeden x-ışınları ve elektronun keşfiyle sonuçlanacak olan gaz içinden geçen elektiriğin yükboşalım deneyleri için gerekliydi.

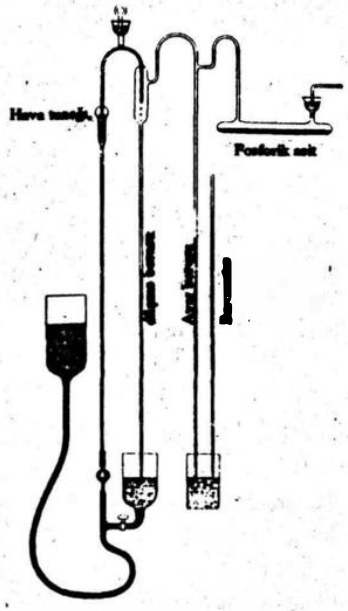


Resim 1.1 Bir Ruhmkorff makarası. (Kaynak; Urbanitzky, Electricity,1890) İlk makarasında akımın birden kesildiği bir tür transformatördür. Bu ikinci makarada yüksek gerilim yaratır o dahavada kıvılcım çaktırır. Makara, boşalmalı tüpleri beslemekte kullanılırdı.

Resim 1.2'de Sir William Crookes'in boşluk tüplerinde elektriksel yükboşalımları incelerken kullandığı pompa görülmektedir. Havası boşaltılacak tüpler pompaya, sağdaki içinde fosforik asit bulunan kurutucu tüp üzerinden bağlanırdı. Sol kaptaki civa düşme borusuna damlaya damlaya gelir, içerideki havayı kabarcık kabarcık dışarı atardı. Ölçü borusundaki civa düzeyi, barometredeki düzeye kıyasla sağlanan boşluğun derecesini gösterirdi. Civa haznesi birçok kez elle yukarı aşağı oynatma zorunluluğu da profesörün tüplerini ve kaplarının havasını boşaltmakla görevli teknisyen için yorucu bir işti. Bu tür pompaların tümünde mükemmel boşluğun yetkin örneği barometreydi. Böyle bir pompayla erşilebilir boşluk, bugün yeterli boşluk diyebileceğimizden yaklaşık bir milyon kez daha kötüydü.

Yüzyılın dönümünde fizikçilerin nelerle uğraştığını ayrıntısıyla öğrenebilmek için, zamanın önde gelen dergilerinden birine *Analen der Physik*'e şöyle bir göz atalım. Bir süre önce, aynı yayın *Analen der Physik und Chemie* başlığını taşıyordu çünkü bugün bizim fiziğinher altdalı için bir dergi yaratan özelleşmeye yönelik eğilimimizin (Ç.N. 3) tersine fizik ve kimya bilimleri henüz ortak sayılıyordu. Annalen'de yer ayrılan konular gazların sıvılaştırılması; özgül ısıların ölçülmesi ve özellikle optiğin tüm olaylarının elektromanyetikdalgalarla yineleme girişimleri; yansıma ve kırınım; saçınım, kutuplanma düzleminin dönümü; ve benzerleri. Isıdinamiği o zamanlar yaklaşık kırk yaşındaydı ve henüz tümüyle pekiştirilmiş değildi. Gaz yükboşalımları Resim 1.6 ve 1.7'dekilere benzer tüplerle ve Ruhmkorff makarasıile çalışılırdı. Gazların kinetik kuramı konuyla çok sayıda kişinin ilgilenmemesine ve bu alandaki bazı büyük kişilerin az ta-

(Ç. N. 3) Kitabın yazıldığı 1976'dan bu yana, her alt dal için birkaç dergi yayımlanır olduğu gibi, ara ve çakışık dallara ayrılmış dergiler de basılmaya başlamıştır.



Resim 1.2 Bir civalı boşluk pompası. (Kaynak; S. P. Thompson, Görülebilir ve Görülemez Işık 1897) Pompa havanın düşme borusunda yaklanması yoluyla çalışır. Ölçü tüpü elde edilen boşluğu barometredeki ile kıyaslar.

nınmalarına karşın gayretle ilerliyordu. Yale Üniversitesiöğretim üyesi Josiah Willard Gibbs (1839-1903), bilimsel dünyanın çoğunca bilinmiyordu (Maxwell ve birkaç kişi hariç). Viyana'da istatistiksel mekaniğin kurucularından Ludwig Boltzmann (1844-1908), Almanca konuşan ülkelerdeki hiç kimsenin çalışmasını dikkate almadığından yakınıyordu. O yıllarda dergilerde yer ayrılan öteki konular fiziksel kimya ve iyonsal ayrışma, çözücülerdeki iyon kavramının başlangıcı ve termodinamik ile kimyasal dengearasındaki ilgiydi. Salt yapılabilirliğin ötesinde olacağından değil ama atomun henüz tam ilgi kazanamamış olduğundan; kimse atom modeli kurmayı ciddiyetle düşünmüyordu.

Kuşkusuz, kimyacılar atomik "varsayımı" bilirdi, ama atomların gerçekliğine inanç herkesce paylaşılmazdı. Geçmişe bakıldığında kimyacıların kimyasal formüller yazdığı ve Avogadro yasası ile Faraday'ın elektroliz yasalarını öğrendiğinden beri, atomlarainanmaları gerektiği de görülebilir. Ama durum öyle değildi. 1905'e dek kuşkuculuk hâlâ yaygındı, bazı bilimciler özdeğin tanecil kuramını tümüyle yadsıyor ötekiler de atom kuramının kimyadaki yararlılığını kabul ediyor ama gerçeklikten kopuk sayıyorlardı. Bu kuşkucularne deli ne de beceriksizdi. Örneğin, biraz daha eskilerden Oxford'da Kimya Waynflete Profesörü olan Sir Benjamin Collins Brodie (1817-1880), atomların kimyaya gereksizliğini göstermek için makale ve kitaplar yazmıştı. Tüm güvenilirliğiyle, "ideal kimya" adını verdiği ve atomlarıdışlayan bir sistem

geliştirmişti. Organik kimyada molekül modelleri yapmak için teller ve toplar kullanıldığında sinirlenirdi; bu yapıları "doğramacının tümüyle özdeksel iş parçaları" olarak nitelerdi, bir saldırı, kimya onurunun kesinlikle altında birşey.

1887'de karşıtatomculuk sancağı Nobel Ödülü'nü ilk kazananlardan (1909) ve öndegelen bir Alman kimyacı olan Wilhelm Ostwald(1853-1932) tarafından yükseltilmişti. Bu yıl, Leipzeig'de kimya profesörü olan Ostwald dağıttığı şaşaalı nutkunda, tüm olayların atomlara gerek kalmadan tümüyle enerjinin karşılıklı etkisiyle açıklanabildiğini savlayan "enerjetik" doktrini geliştirmişti. Daha sonra atomları kullanmayan bir kimya ders kitabı bastı ve bu kitap daha 1909'da İngilizce'ye *Kimyanın Temel İlkeleri* adıyla çevrildi. Ostwald görüşünü J.J. Thomson ve S.A.Arrhenius kanısını sarsana dek korudu ve Allgemenie Chemie'sinin 1912 baskısında sözlerini geri aldı.

Fizikçiler arasında, atomik "varsayım"ın en dikkat çeken inanmazlarından biri, seçkin bir psikolog da olan Ernst Mach'dı (1838-1916). *Duyuların Çözümlemesi*'nin 1906 basımında "fizik ve kimyanın yapay varsayımsal atom ve molekülleri"nden sözetmiş ve "bu aletlerin özelsınırlı amaçlarının değerini" tanımayarak cebirsel simgelerle karşılaştırmıştı. Sadece alfa parçacıklarının parıltılarını gördükten sonra (Ç.N. 4) atomların var oluğuna ikna olmuş ya da en azından kuşkuculuğunun hızı kesilmişti.

Kuşkuculuğun yaygınlığının çelişkili olmayışının nedeni, henüz hiç kimsenin akıl gözünü ikna edecek biçimde bir atom "görmüş" olmamasıydı. Bugün bile henüz hiç kimse bir atomu gerçek anlamıyla görmemiştir, ama atom için kanıtlar birçok insanın "görmüş" olduğumucize ve uçan daireler için olduğundan çok daha fazla ikna edicidir. (Ç.N. 5) Şunu da anımsalıyız ki, Avogadro yasası - aynı sıcaklık ve aynı basınç altındaki gazların eşit hacimleri aynı sayıda molekül içerir - 1811'de formüle edilmesine karşın, Avogadro sayısı - bir moldeki molekül sayısı - neredeyse elli yıl sonra ancak 1860'da "ölçülmüştü" ya da atomik çap ve kütle gibi birçok atomik niceliğin büyüklük basamağıyla birlikte bu sayının büyüklüğüne ilişkin işareti bilimciler ancak elde etmişti.

Ondokuzuncu yüzyılın sonunda Max Planck gibi bir insan bile atoma güvenirken çekinceli davranıyordu. *Bilimsel Yaşamöyküsü*' nde anımsattığı gibi, "atom kuramına karşı salt kayıtsız değil belirgin bir ölçüde düşmanca"ydı da. Ancak kendi bulduğu ışıma yasasınınkuramsal temelleri için gerektiği zaman atom kuramını kabul edecekti.

Önder bilimsel kişilikler, ülke ülke kolaylıkla saptanabilirdi. Birleşik Kırallığın listesinde Lord Kelvin (William Thomson; 1824-1907) vardı. 1895'de 71 yaşındaydı ve üç yıl önce baron olmuştu, yaklaşık yarım yüzyıldır Glasgow Üniversitesi'nde doğal felsefe kürsüsünü elinde tutuyordu ve alanın önder fizikçisi sayılıyordu. Eğittiği ve doğ-

---

(Ç.N. 4) Yazar, İlk kez Rutherford'un gerçekleştirdiği deneyden söz ediyor. Bu konuya ileride ayrıntısıyla değinilecektir.

(Ç.N. 5) 1990'lı yılların başında geliştirilen "Elektron Taramalı Microskop=Electron Scanning Microscope" yöntemiyle, atomların varlığı gören her gözü ikna edecek açıklıkta tanıtlanacaktı.

rudan ya da yazıları aracılığıyla esinlediği öğrenci kuşakları üzerindeki etkisi müthişti. Lord Kelvin'in daha büyük bir çağdaşı, James Clerk Maxwell (1831-1879), genç yaşta ölmüştü ve yaşamış en büyük fizikçilerden biri olduğu ancak çok sonraları anlaşılacaktı. Bu dönemin ötekı İngiliz aydınlatıcıları Lord Rayleigh (1842-1919), kimyacı Sir William Crookes (1832-1919) ve Sir William Ramsay (1852-1916) idi. 1884'te J.J. Thomson (1856-1940) Cambridge Üniversitesi'nde izleyen otuz beş yıl içinde elinde tutacağı Cavendish Profesörlüğü'nde Lord Rayleigh'in ardılı olacaktı. Ama yeni fizikçi kuşaklar yetiştikçe, daha genç bir gruptan sayılacaktı. Michael Faraday (1791-1867), bize neredeyse tarih öncesindenmiş gibi gelse de 1895'in bir başka insanı, 1947'de ölen, Max Planck'tan ayrı tutulamazdı, bizdendir; aslında bir ihtimalle de bize daha yakın görünür, çünkü bir önceki yüzyılda bilim daha yavaş adımla gelişmiştir.

Fransız bilim sahnesi tam da 1895'de ölen biyolog, kimyacı ve fizikçi Louis Pasteur'un (1822-1895) egemenliğindeydi. Pasteur'un çapında başka Fransız fizikçi yoktu; Ampére (1775-1836), Fresnel (1788-1827) ve Carnot (1796-1832) çoktan geçmişe malolmuş kişiliklerdi. Pasteur Fransız biliminin temsilcisiydi, büyük bir bilimci, insanlığın büyük velinimeti ve - en azından uzaktan bakıldığında çekici bir kişilikti. Her ne kadar onun hakkında yazanlar bir ermiş gibi gösterirlerse de, yazdığı sayısız polemikli makaleler onun kavgacı bir adam olduğunu düşündürür. Yüzyıl sonundaki iyimser ruhu içine sindirmişti. Gelişme için umut, bilimin tüm sorunları çözeceği ve bilimciler ve diğer düşünürler eninde sonunda tüm insanları uyum ve adalet düşünceleriyle esinleyeceği güveni - Birinci Dünya Savaşı ile yıkılıp bir daha geri dönmeyen bir kanı vardı. Pasteur uz dille (=belagatla) laboratuvarların insanlığın tapı-nakları olduğunu ilan etmişti, barış savaşı yeneccktı ve bilim büyük zamanlara götürecekti.

Alman Biliminde yükselen kişilik Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz'du (1812-1894). Helmholtz tıpkı İngiltere'deki arkadaşı Lord Kelvin'in konumunun benzeri, Almanya'da eşsiz ve çok etkin bir konumu elinde tutuyordu. Maxwell'in rakibiydi ve Maxwell'in kuramıyla uyuşmayan bazı çalışmaları bilimcileri uzun yıllar süren bir bölünmeye uğratmıştı. Çelişmeyi Maxwell lehine çözen ise Helmholtz'un en sevgili ve ayrıcalıklı öğrencisi Heinrich Hertz olacaktı. Hertz, 1887'de elektromanyetik dalgaları tanıtladığı o ünlü deneyleri gerçekleştirecek ve Maxwell eşitliklerinin geçerliğini hiçbir kuşkuya yer bırakmayacak biçimde kanıtlayıp radyo yayınlarına giden alanı açacaktı. Bunlar 1895'in "büyük yaşlı adamlar"ıydı,ama daha genç bir bilimciler kuşağı da vardı; İngiltere'de J. J. Thomson, Avusturya'da Ludwig Boltzmann, Almanya'da Max Planck (1858-1947) ve Philipp Lenard (1862-1947) (Einstein o zamanlar henüz on altı yaşındaydı ve çokbaşarılı bir öğrenci değildi) ve Fransa'da Jules-Henri Poincaré (1854-1912). Poincaré tam kırkındaydı, yine de o zamanlar yaşayan en büyük matematikçi olarak evrensel çapta tanınırdı. Salt matematikle değil, ama fizik, astronomi ve felsefeyle de ilgilenir ve Fransız edebi yetenekleri arasında sayılırdı. Ünlü Sorbonne dersleri, Maxwell'in *Treatise on Electricity*'sinin mühürlerinin anakaradaki bilginlere açılmasının aracı olmuştu.

Resim 1.3 Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928). Lorentz'in çalışması klasik fiziğin ulaştığı sınırları çizer ve Maxwell kuşağı ile Einstein ve Planck'ınkiler arasındaki bağlantıyı biçimler. Lorentz'in kişiliğinin fizikçilerin dünyasında, buyurgan saygınlığı yüzünden güçlü bir etkisi vardı. (Nobel Kuruluşu.)

H. A. Lorentz (1853-1928) bu dönemin aydınlatıcılarından bir başkasıydı. (Bknz. Resim 1.3) Olağandışı çiçek yetiştiriciliğinden zevk alıp en iyi birkaç bilimcisinin memlekette yer azlığından göç etmek zorunda kaldığı Hollanda'nın temsilcisiydi. Bugün altmış bin fizikçi olabileceğine kıyasla, öyle sanıyorum ki, 1895'de yaklaşık bin kadar fizikçi vardı. Hakları olduğunca dolgun ücret alıyor ve makul ölçüde yüksek saygı görüyorlardı. Bazı insanların inandığı gibi, bilimin yaşamsal öneminin son yıllarda anlaşıldığı doğru değildir. Helmholtz gibi bir bilimci ne zaman isterse Kaiser (=Alman İmparatoru) ile görüşebilirdi; Kaiser, bilime olan ilgisini, yeni yaptırdığı Postdamer Brücke'yi "Matematikçilerin Prensi" C. F. Gauss'un, W. C. Röntgen'in, H. Helmholtz'un ve elektrikli aygıtlar mucidi ve sanayici W. v. Siemens'in heykelleriyle donatarak göstermişti. (Heykeller İkinci Dünya Savaşı sırasında imha olmuştur.) Fransa'da III. Napoleon gözboyayıcı amcasına öykünerek, önemli bilimcileri huzuruna kabul etmişti. İngiltere başarılı bilimcilere şimdikinden daha az olmayan sıklıkta şovalyelik ünvanı verir ve bazen de en büyük lordluğa yükseltirditanık Lord Kelvin'dir. Lord Rayleigh aralarında Başbakan olmak üzere politik arkadaşlarınca konutunda sıklıkla ziyaret edilirdi.

Yeni bir fiziğin doğuşunu gören bu dönem, salt fizikte değil, heryerde taze ve serüvenci düşünüşle karakterize edilirdi. O dönem toplumsal ve entellektüel mayalanma, edebiyatta bireyin coşku ve sanatta karşı akademizm devrimi zamanıydı, sadece mimarlık inatla geçmişinerdemlerini savunuyordu. Sosyalist ayaklanmalar heryerde başgösteriyor, bu arada anarşizm krallık ve devlet önde gelenlerinin tasarlayarak öldürülmesiyle zorbalığın doruğuna erişiyordu.

Fransa'da İzlenimciler ve resmin öteki yeni okulları iş başındaysa da aykırı resimleri pek değer bulmaz ve Van Gogh'unkiler hiç satılmazdı. Müzik dünyasında Debussy hâlâ

yarı-karanlıkta bestelemekteydi. İki büyük edebi kişilik, Anatole France ve Emile Zola'ydı. France ülkesine özgü karakteri kendi zamanında portrelemiş, çok popüler bir doğalcı romancı olan Zola yüzyılın sonunda ülkeyi yıllarca karışıklık içinde bırakan Dreyfus'un suçsuzluğunu "dava"da savunurken Fransız toplumunu yargılamıştı.

İngiltere Darwin'in evrim kuramının yürek parçalayıcı entellektüel deneyiminden geçmişti. Darwin 1895'den on üç yıl önce ölmüştü, ama bilimsel hareketin Darwin geleneğinden olan düşünürü Herbert Spencer, yetmiş beşinde, oldukça canlı, o döneme özgün biçimde gelişmeye olan inanç üzerine hâlâ düşünüp yazıyordu. Edebiyatta Oscar Wilde seyircilerine nükteli dramalarla zevkli anlar yaşatırken, Thomas Hardy ve George Meredith, Kraliçe Victoria dönemine özgü karanlık, ağırbaşlı ve üzüntülü roman türünün son örneklerini yazıyordu. H. G. Wells ve G. B. Shaw uğraşlarının ilk basamaklarındaydı. Henüz genç bir popüler oyun yazarı olan Shaw, daha çok, sosyalist Fabian Topluluğu'nun devindirici gücü olarak etkinlik sağlamaktaydı.

Almanya *Zerdüşt Böyle Dedi* 'nin şairi ve "güç arzusu"yla davranan üstüninsanın filozofu Friedrich Nietzsche'yi üretmişti. Nietzche'nin doktrinleri, on dokuzuncu yüzyıl sonunda geçerli değer yargılarına karşı başkaldırma ve yenilikçi ruhun tam ve kesin anlatımlarıydı. 1895'de Nietzche rahatsızdı ve artık yazmıyordu, ama etkisi başkalarının yapıtlarında örneğin bir estetikçi, İtalyan ulusalcılığının fanatik temsilcisi ve 1. Dünya Savaşı'nda gelecek "üstüninsan" Gabriele D'Annunzio'nun roman ve şiirlerinde görülmeye başlamıştı. Ne yazık ki,Nietsche'nin ülküleri (=ideals) geleceğin diktatörleri Mussolini ve Hitler gibi çok daha tehlikeli adamları da esinleyecekti.

Yüzyıl sonunda hüküm süren iyimserlik ve bilime inanç, bir İtalyan yaratımı olup en azından son otuz yıldır İtalya ve Fransa'da çok seyirci çeken Excelsior Balesi'nce konu edilmekteydi. Öykü Bilgisizlik Yandaşlığı'na götüren Aydınlanma, karanlığın dehası, İlahi Güç tarafından esinlenen buhargemisi, "elektrikli telgraf", Süveyş Kanalı ve Cenis Dağı tüneli gibi uygarlığın büyük keşif ve buluşlarına tanıklık etme simgeleriyle örülmüştü. Bilgisizlik Yandaşlığı orada tüm insanların kardeşlikle bütünleşmesi ve ayakları altındaki toprağın çökerek insanı yuttuğu görüşüne sahipti. Bale Bilimin zaferi, İlerleme, Kardeşlik ve Sevgi ile kapanıyordu.

Yeni Ufuklar

Şimdi doğru fiziğe ve atomik yapının anlaşılmasına yolaçan çalışmaya dönüyoruz. 1895 ile 1897 arasındaki yıllar dört büyük buluş yüzünden çok önemliydi: x-ışınları, elektron, Zeeman etkisi ve ışımaetkinlik. Elektronun bulunuşu zaman sıralamasında en sonda (ancak 1897'de yükü ile kütlesinin oranının ölçülmesiyle tamamlandı) ise de, ondokuzuncu yüzyıl fiziğinin "boşluk" tüplerinde elektriğin boşalması ile uzun süren ilgisinin sonucunun bir parçası olması nedeniyle ilkin bu konuya değineceğim.

Gazlarda elektriksel yükboşalımlarının ilk çalışmalarından birinde (1823), Micheal

Faraday şunu bulmuştu "havanın seyreltilmesi olağanüstülükle parıltı olayı verir" ("Elektrik Üstüne Deneysel Araştırmalar"). Parıltıyı alçak basınçtaki birçok farklı gazda sınadı ama hiçbir zaman "durup yeniden işleyen, görülebilir ögesel yükboşalımlarına" ayrıştıramadı. Parıltının güzelliğini betimledi ve anot yakınındaki şimdi adını taşıyan karanlık bölgeyi gözledi. "Yapılabilecek en mükemmel boşluk"un bile mutlak boşluk olmaktan uzak düşeceğini bilse de erişebildiği boşluk gerçekleştirebileceğinden çok daha yetersizdi.

"Boşluk" tüpünün yakınına bir mıknatıs getirip yükboşalımına ne olacağını görmeyi ilk kez 1858'de Julius Plücker akıletmişti. Plücker (1801-1868) bir Alman matematikçi, topolojicisiydi ve ilerıki uğraşı içinde Bonn'da fizik profesörü olacak ve ilgisi gaz yükboşalımlarıyla mıknatıslık arasındaki ilişkide yoğunlaşacaktı. (O zamanlar birden çok alana yayılmak bir bilimci için çok doğaldı: Gauss hem matematikçi hem de fizikçiydi; Helmholtz bir fizyolojici, fizikçi ve düşünürdü; Kirchhoff ise, kuramsal fizik profesörü olduğu kadar da iyi bir kimyacıydı.) Plücker boşluk tüpünün yakınına getirdiğinde, yükboşlımında biraz sapma fark etmişti. Sonraki yıl tüp camında katot yakınlarında parlak yeşil bir yakamozlanma (=fosforesans) görüldüğünü bildirmiş ve mıknatıs kullanarak yakamoz lekelerinin yerini değiştirmeyi başarmıştı. Yine de, daha ileri gidememişti çünkü boşluk tüpü aşırı yetersizdi.

1869'da Plücker'in öğrencisi Johann Hittorf (1824-1914) daha başarılı olacaktı. Aradaki yıllar içinde ilk civalı pompalar kullanıma girecek ve tüpünü öncekilerden biraz daha iyi boşaltabilecekti. Yükboşalımının katottan kaynaklandığının belirtisi olan, katot önüneyerleştirilen bir nesnenin yaptığı gölgeyi gördü. *Kathodenstrahlen*, katot ışınları adı 1876'da E. Goldstein (1859-1930) tarafından konmuştu. 1879'da William Crookes kendi bulduğu daha gelişmiş bir pompa ile boşalttığı tüplerdeki katot ışınlarının sistematik incelemesini yürüttü. Crookes'in yazılarından birinde özellikle iyi bir boşluk elde ettiğinden emin olduğunu okumak aydınlatıcıdır. Ne denli iyi ölçtüğünü merak ettiğim içerideki basınç, 40 x 10^{-3} milimetre civa, modern büyük ivmelendiricilerde sahip olduğumuzdan yaklaşık bir milyon kez daha yüksekti.

Bugün katot ışınlarının hızla devinen elektronlar olduğunu biliyoruz, ama hiç kimse o zamanlar elektronların varlığını bile bilmiyordu. Katot ışınları hakkında bilinen gerçekler iyice boşaltılmış bir tüpün katotundan geldiği; tüpün karşı duvarına çarpıp, orayı ışıttığı; yolları üstündeki nesnelerin keskin gölge vermesinden açıkça düz çizgilerde ilerlediği; ve bu konuda kimse emin olamasa da, olasılıkla mıknatıs tarafından saptırıldığıydı.

Katot ışınlarının doğası hakkında büyük bir tartışma başlamıştı. Neydiler? Bazıları tanecik olduklarını söyledi, katottan fırlatılan parçacıklar; başkaları dalga olduklarını söyledi. Tuhaftır, kanıtlar ulusal çizgiler boyunca ayrışmıştı. 1892'de Hertz deneysel kanıtlarıylakatot ışınlarının parçacık olamayacaklarını, nitekim dalga olmaları gerektiğini savladı. Gustav Heinrich Wiedemann (1826-1899), Goldstein ve tüm Alman fizikçiler de onayladı. Ama İngiltere'de Crookes bu ışınların elektrikli yüklü par-

çacıklar olduğunda ısrar etti (Crookes onlara "ışıyan özdek" adını vermişti) ve İngiltere'deki fizikçiler Kelvin, J.J.Thomson ve diğerleri - bu yolda ilerlediler ve "parçacıklar"ı desteklediler.

Sonunda, 1895 Fransa'da, Jean Baptiste Perrin (1870-1942) katot ışınlarının eksi elektrik yüklü parçacıklar olduğunun özdeksel kanıtını buldu. İyi boşaltılmış bir tüpte ürettiği katot ışınlarını Faraday kafesine gönderdi ve eksi yük taşıdıklarını gösterdi. Bir mıknatısla saptırılabiliyor ve mıknatısın nasıl hareket ettirildiğine bağlı olarak Faraday kafesinin içine ya da dışına doğru yöneltilebiliyorlardı. Bunlar, sonraki ilerlemeye yol açan önemli deneylerdi.

Jean Perrin, Paris École Normale Supérieure'de öğrenim görmüş ünlü bir Fransız fizikçiydi. Ayrıca bir başka önemli fizikçi Francis Perrin'in babası ve böylece Fransız bilimsel hanedanlarının seçkinlerinden birinin de kurucusuydu. (Diğer büyük bilimsel aileler, bazılarına ileride değineceğimiz Becquerel, Curie ve Brillouin aileleriydi.) Birinci Dünya Savaşı'ndan önce Jean Perrin, dev moleküller gibi davranan jelatinsi 'guttapercha' yuvarları (Ç. N. 6) kullanarak Browncil devinim üstüne duyarlıklı deneyler yapmıştı. Bu deneylerden elektronun yükünü dolaylı olarak saptamıştı. Sonraki yaşantısında Fransız politikasına etkin bir solcu militan olarak katıldı. Fransa işgal edilince kaçtı, New York'ta öldü.

Perrin ve doğrudan bağlantılı olduğu J.J. Thomson'un çalışmaları arasında, tayfölçümü (=spectroscopy) tekniğiyle bağlı elektron üstüne bazı önemli çalışmalar yapıldıysa da bu genel elektron sorunu bağlamındaydı. Tüm bu çabalar zaman içinde birbiriyle örtüşür ve birçok bilimcinin bilimsel dergileri okuduğuna ve farklı işliklerdeki çalışmalardan haberdar olduğuna kuşku yoktur. Şimdi Hollanda ve Pieter Zeeman'a dönüyoruz.

Pieter Zeeman

Elektron adı daha 1894'de G. Johnstone Stoney tarafından önerilmişti. Dahası, atom içinde devinen elektrik yüklerinin ışık yayımından sorumlu olduğuna inanılıyordu. Birkaç başka olay da nokta elektrik yükleri düşüncesini destekliyordu ama konu üstündeki görüşler genel olarak belirsizdi. Birden 1894'te, Leyden'de çalışan tanınmamış genç bir fizikçi, Pieter Zeeman (1865-1943) özdeksel bir keşif yaptı. Çoktandır ünlü olan H. A. Lorentz tarafından yapılan kuramsal açıklama da Zeeman'ın bulgularını çabucak izledi.

Zeeman Hollanda'da doğmuştu. Kamerlingh Onnes'in yanında çalışmış sonra Lorentz'in yardımcısı (=assistant) olmuştu. Zeeman, Faraday'ı canlı bilim ve esinlenme kaynağı olarak hâlâ okurdu. Faraday'ın türlü "doğa kuvvetleri" arasındaki ilgiyi sürekli

---

(Ç.N. 6) Gutta-percha (gütaperka okunur) ağacından elde edilen beyaz renkli özden yapılan bir tür kauçuk. Diş dolgularının yanısıra, araba frenlerinde balata olarak da kullanılır.

araştırmasında, ışığı mıknatıslık ile etkilemeye çalıştığını fark etmişti. Bu girişimler camda manyetik alan tarafından üretilen ışığın kutuplanma düzleminin manyetik dönümünün önemli keşfini getirmişti; Faraday'ın elindeki bir parça flint camıyla (Ç.N. 7) olayı ölmezleştiren ünlü bir portresi vardır. 1862'de, son deneylerinden birinde, Faraday sodyum buharının yaydığı ışığı manyetik alanla etkilemeye de çalışmış ama başaramamıştı. Maxwell de, 1870'te bu olayların olabilirliğini yadsımıştı.

Zeeman Faraday'ınkinden çok daha iyi bir aygıta sahip olduğunu kavramıştı. Küçük bir etki, ayrıştırma gücü düşük prizmalı tayfölçerle çalışan Faraday'ın gözünden kaçabiliyorken Zeeman kırınım ızgarası kullanabiliyordu. "Zeeman etkisi"ni keşfettiğini bildirirken, demişti ki:

> *Eğer Faraday yukarıda sözü edilen bağlantının olasılığını dünseydi, belki deneyi günümüz tayfölçümcülüğünün yetkin yeniden düzenlemeleriyle tekrarlamayı denemeye değerdi, ama bildiğim kadarıyla henüz başkaları tarafından bu yapılmadı. [Philosophical Magazine [5] 43, 226(1897)]*

Zeeman deneyi tekrarladı ve hemen tayf çizgilerindeki manyetik alanın getirdiği hafif genişlemeyi gördü. (Bknz. Resim 1.4) Genişleyen çizgi kenarlarının kutuplandığını fark etti ve tekniği arındırarak manyetik alanla gözlem yönlerinin görece yerleştirilmesine bağlı olarak birikil (=doublet) ya da bir üçül(=triplet) ortaya çıktığını gördü. Buluşunu Lorentz'e bildirdi, o da gözlemlerin açıklamasını ivedilikle yaptı.

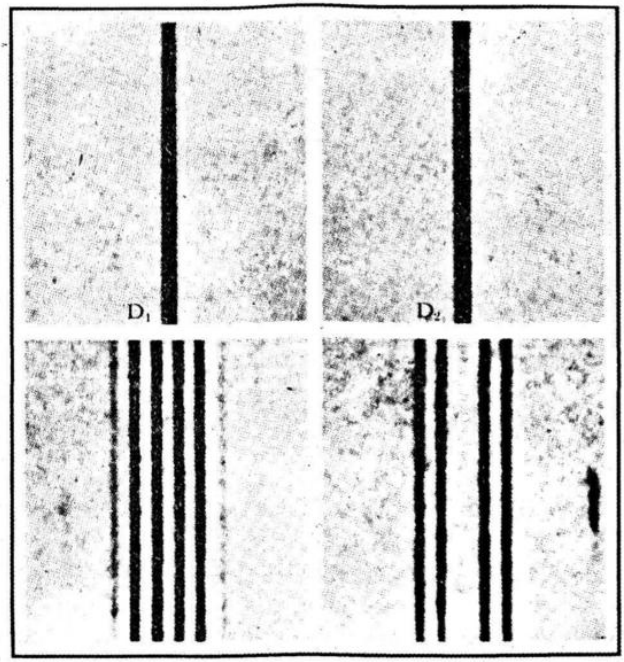
Temel düşünce ışığın atom içinde devinen yüklü parçacıklar (elektronlar) tarafından yayımlandığıydı. Devinimleri elektromanyetiğin klasik yasalarına göre manyetik alanca etkilenmekteydi. Yayımlanan ışığın frekans değişikliklerinden, Zeeman ve Lorentz e/m'yi, ışık yayımına neden olan parçacıkların özgün yükünü olduğu kadar yükün işaretini de belirliyebildiler. Zeeman ilkin yaptığı işaret hatasını kısa sürede düzeltti; işaret konusunda Zeeman gibi titiz bir Hollandalı bile yanlış yola sapabilir (Ç.N. 8).

Zeeman'ın asıl dikkate değer bulguları e / m' nin işareti ve değeriydi ki, atomik kütleler hakkında bilimcilerin o dönem sahip olduğu ilkel sanılar temelinde tüm atom için umulandan yaklaşık bin kez daha büyüktü. Sonraları kanıtlandığı üzere Zeeman etkisi atomik yapının çözümlenesi için güçlü bir araç, Pauli ilkesinin, elektron bükümü (=spin) için, yayımlama düzeneğinin ayrıntıları ve daha birçoğunun keşfi için belirleyici olmuştu. Paketçik (=quantum) mekaniğiyle mükemmelen uyuştu ve bu kuramın en önemli deneysel dayanağını oluşturdu.

Zeeman'ın deneylerinde elektronlar atomlara bağlıydı. Serbest elektronlar da, fiziğe hemen aynı zamanda ve başlıca J. J. Thomson'un çalışmalarıyla girdiler.

(Ç.N. 7) Flint camı ya da çakmaktaşı camı; kurşunlu kristal olarak da bilinen, parlak, saydam ve ışığı kırma gücü yüksek, ağır ve dayanıklı bir cam türüdür.

Ç.N. 8) Hollandalıların olağanüstü ayrıntılı resim ve titiz saat işçiliği geleneğine gönderme yapılıyor.



Resim 1.4 Sodyumun sarı tayf çizgileri (D çizgileri)üstündeki Zeeman etkisi. Yukarıda, D1 ve D2 çizgileri manyetik alan olmaksızın. Aşağıda, kaynak manyetik alan içine konduğunda aynı çizgiler çokullara (=multiplet) ayrışmış. Çokul çizgileri kutuplanmıştır. Gözlemin yönümanyetik alan yönüne diktir.

Joseph John Thomson

Elektron keşfedildiğinde J. J. Thomson Cambridge Üniversitesi'nde Cavendish Profesörü'ydü. (Bknz. Resim 1.5) 1856'da Manchester yakında işadamlarından oluşan bir ailede doğmuştu, aile geleneğini izleyeceği bekleniyordu, ama koşullar onu bilimsel çalışmalara yöneltti ve 1876'da Cambridge Trinity Kolej'e girdi. Burada, o zaman hep olduğu üzere, adını, "tripod" denen ve yarışmanın yapıldığı odaları ısıtmakta kullanılan kömür dolu mangallardan alan güç yarışmacı bir "tripo" yazılı sınavı için kendi kendini yetiştirdi. Kazananlara "wrangler (=kavgacı)" denirdi. 1880'de ikinci wrangler olmuştu, önünde Maxwell vardı.

J. J. Thomson Maxwell'in bazı derslerini dinlemişti, ama Maxwell'in ardından Cavendish Profesörü olan Lord Rayleigh ile birlikte birçok kuramsal yayın yapmıştı. 1884'te Rayleigh Cavendish Profesörlüğü'nden, beş yıl hizmet edeceğine söz verdiği

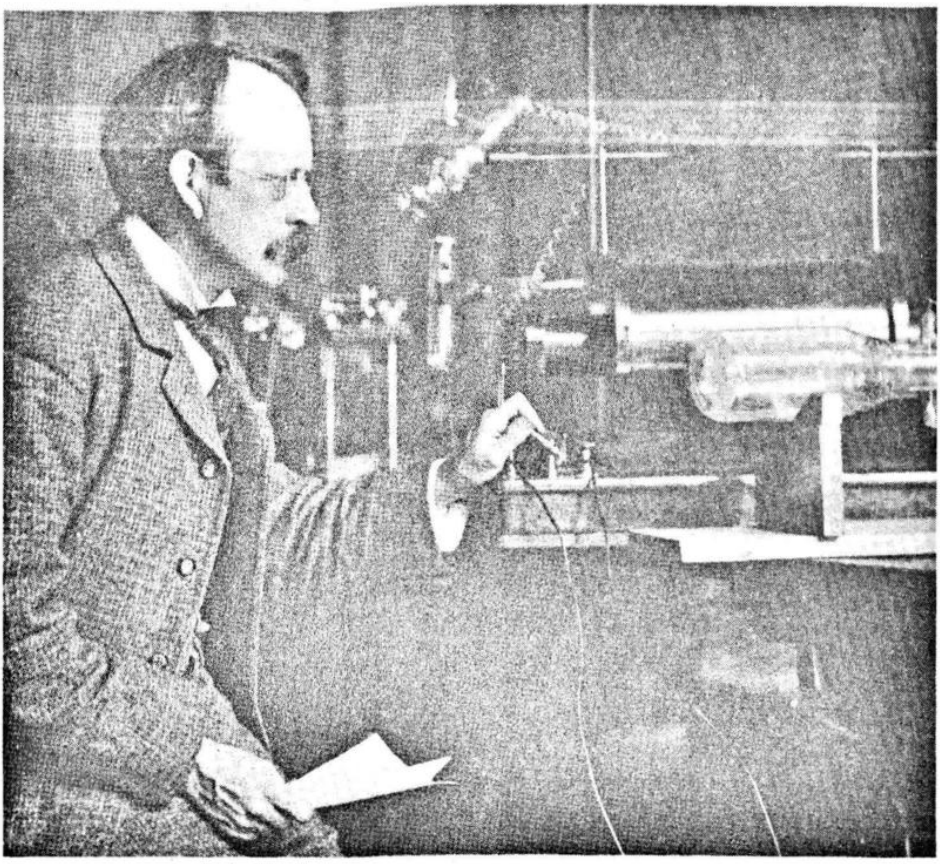
başlangıçtaki anlaşması uyarınca emekliye ayrıldı. Thomson, kendi sözleriyle, "ciddi sayılabilecek çalışması ve sorumluluğu olmaksızın." profesörlük için başvurdu. Henüz yirmi sekiz yaşındaydı ve seçileceğini beklemiyordu. Seçilmesi, ona da sürpriz oldu. Elektronlar ya çok şanslı ya da çok uzak görüşlüydü. Thomson, "Kendimi hafif takımlarıyla, görmediği bir noktaya oltasını raslantısallıkla fırlatmış ve çekebileceğinden çok daha ağır bir balık yakalamış balıkçıgibi hissetmiştim. Lord Rayleigh yüksekliğinde bir insanı izlemenin güçlüğünü hissetmiştim." demiştir. Maxwell'den söz etmeyişi dikkat çekicidir, oysa bir başka yerde ilk Cavendish Profesörlüğü ataması (Şubat 1871) hakkında şöyle demektedir,

> *Üniversite'nin, ilkin Sir William Thomson'a (Lord Kelvin) sonra da büyük Alman fizikçi ve fizyolojicisi von Helmholtz'a yaklaştığına inanılır, ama bunların hiçbiri kadroyu alabileckleri yolu göremezdi. Seçilmesi sırasında Maxwell'in çalışmasını çok az kişi biliyordu ,ünü de şimdikiyle kıyaslanamazdı (1936). ... Gerçekten, ölümünde bile, fiziğe üstün katkısının doğruluğu - lektromanyetik alan kuramı - açık bir soruydu.* [Recollections and Reflections, *sayfalar 96, 101]*

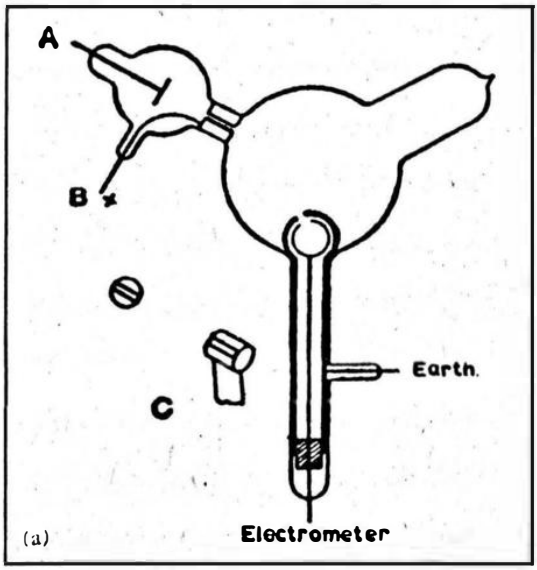
Thomson işliği yenilemeye, yeni öğretim yöntemleri tanıtmaya ve çok başarılı olacak bir araştırma okulu kurmaya girişti. Cavendish İşliği'nden keşif ırmakları taştı; elektron, sis odası, ışımaetkinlik üzerine ilk önemli çalışma, ve eşiller en göze çarpanlar arasındaydı. Öğrenciler arasında tümü de ileride ünlenecek olan Rutherford, C. T. R. Wilson, R. J. Strutt (Lord Rayleigh'in oğlu), J. S. E. Towsend, C. G. Barkla, O. W. Richardson, F. W. Aston, G. I. Taylor ve G. P. Thomson vardı.

Röntgen'in x-ışınlarını keşfi (bu bölümde ileride tartışılacak) gazların iyonlaştırmasına yeni bir yöntem ve gaz halindeki iyonların davranışlarına yeni bir anlayış getirdi. Thomson bu yönde çalışma başlattı ve bu, serbest elektronların araştırılmasına yöneltti. 1897'de Thomson katot ışınlarının tanecikli doğasını doğruladı ve taneciklerin hızı ile yükün kütleye oranını ölçtü. Resim 1.6 Thomson'un deneyinde kullanılan tüplerden ikisini göstermektedir. Resim 1.6a'da ışınlar tüp içinde soldaki A katodunda üretilmektedir. B anodundaki yarık arasından ışınlar ikinci tüpe geçmekte ve bir mıknatıs kullanılarak bir tür Faraday kafesine saptırılmaktadır. Toplanan yük eksidir. Böylelikle katot ışınlarının eksi yüklerden olduğu gösterilmiştir. Benzer deneyler J. Perrin tarafındandan Fransa'da yapılmıştı. İkinci tip tüpte (Resim 1.6b) C'de meydana getirilen katot ışınları topraklanmış A ve B yarıklarından geçip dar bir ışın demeti halinde tüpün ucuna gitmektedir. Demetin tüpün ampulsü ucuna çarptığı yer parlak bir yakamoz (=phosphorescence) lekesi ile belli olmaktaydı.

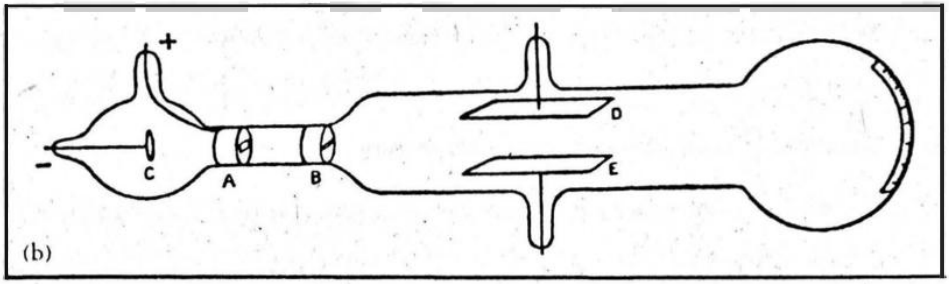
Thomson E ve D metal levhalarını (Bknz. Resim 1.6b) bir bataryanın uçlarıyla bağladığında, yakamoz lekesi, katot ışınlarının elektrik alanla saptırıldığının kanıtı olarak hareket etti. Elektrik alana dik bir manyetik alanla Thomson ışınları manyetik olarak da saptırmıştı. Manyetik saptırma daha önce gözlenmişti, ama elektrik saptırmayı ilkgözleyen J. J. Thomson'du. Bunun görünürdeki eksikliği J. J. Thomson'un araştırması için ilk güdü olmuştu. Katot ışınlarının araştırıldığı son on yirmi yıl içinde niçin hiç



Resim 1.5 Joseph John Thomson (1856-1840), ünlü İngiliz fizikçi, elektronlar ve eşiller üzerine yaptığı deneylerle ünlenmişti. Cavendish İşliği'nin üçüncü yöneticisiydi. Katot ışını tüpünü incelerkenki bir portresi İşliğin Maxwell Ders Odası duvarında asılıdır. Görünüşte pısırık, ama aygıtın çalışmasını anlamakta çevikti. (Cavendish Lab., Cambridge Üniv.)



Resim 1.6 (a) Thomson'un yükboşalım tüplerinden biri *Philosophical Magazine* [44, 293 (1897)]'deki çizimden.A katodunda üretilen elektronlar dışarıdaki bir mıknatıs ile saptırılabilir ve toplam yükü ölçen bir elektrometreye bağlı toplayıcıya (Faraday kafesi) getirilebilirdi.(b) Thomson'un yükboşalım tüplerinden bir başkası,aynı dergiden.C katodundan bir ışın yayılır,A ve B'de odaklanıp elektirik alanının bulunduğu D ve E arasından geçer. Elektirik alana dik bir manyetik alan dışarı yerleştirilen makaralarca yaratılır.



kimse elektrik saptırmayı görmemişti? Nedeni basit: Katot tüpünde iyi bir boşluk olmadıkça, elekrik alanoluşturulamaz. Kötü boşluk iletkendir ve bu durumda durgun bir elektrik alan sürdürülemez. Ama Thomson başardı, salt Resim 1.6'da gösterilen düzenekle değil, iki tane daha kullanarak.

Ağustos 1897'de "elektriklenmiş parçacık kuramını sınamak için" yaptığı deneylerini anlattığı ünlü makalesini yazdı ve ölçümlerinin sonuçlarını katot ışınlarını oluşturan parçacık yüklerinin kütleye oranını bulmaya uyguladı; aynı deneylerden parçacıkların hızını daçıkardı. Uslamlaması şöyleydi: Verilen bir akımın taşıdığı elektriğin toplam yükü Q, içindeki parçacık ya da tanecik sayısı N ile her birinin yükü e'nin çarpımına eşittir:

$$Ne = Q$$

Sonra da açığa çıkan ısıyı ölçerek taneciklerin taşıdığı enerji W 'yi ölçtü; bu değer m kütleli ve v hızlı parçacıkların devinim (=kinetic) enerjisine eşit olmak zorundaydı

$$1/2\, N\, mv^2 = W$$

Parçacık demetini manyetik bir alan saptırırken, biliyordu ki

$$\frac{m\,v}{e} = B\rho$$

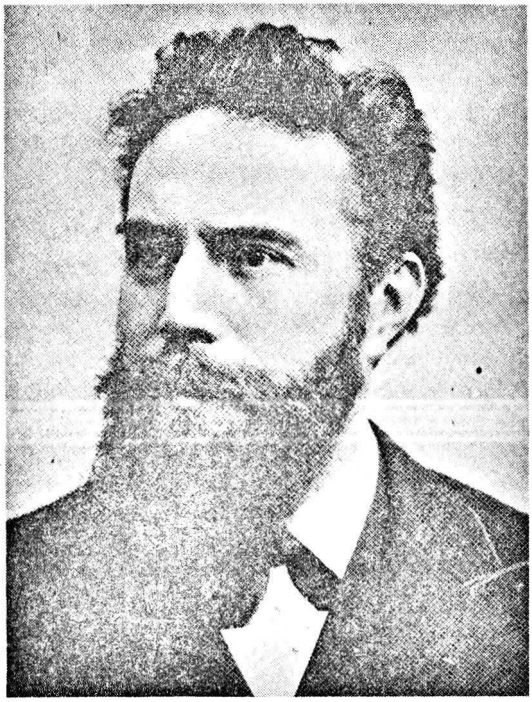
$$\frac{e}{m} = \frac{2\,W}{Q^2 B^2 \rho^2}$$

yörünge eğmeçinin (=curvature) yarıçapı ve B manyetik alandır. Enerji, elektrik miktarı, manyetik alan ve eğmeç yarıçapı ölçülebilir olduğundan Thomson şu sonucu çıkarmıştı 2.3 x 10^{17} esu/g değerine sahipti ki bu da elektrolizdeki iyonlar için olan *e/m* değerinden çok daha büyüktü.

1897 makalesinde Thomson bir başka dikkat çekici gözlem yapmıştı: Katot ışınlarını oluşturan taneciklcr tüpün içindeki gaz ya da katot ya da karşıkatotun bireşimi ne olursa olsun *aynı* idi. Bu, tüm özdek türleri ve biçimleri için geçerli bir evrensel bileşendi. Kısa bir süre sonra, 1889'da, J. J. Thomson eski öğrencisi C. T. R.Wilson'un geliştirdiği düşünce ve yöntemleri kullanarak, elektronun yük ve kütlesini ayrı ayrı ölçtü. Wilson uygun koşullar altında elektrik yüklerinin aşırıdoygun buhar için yoğuşma merkezleri olarak davrandığına dikkat çekmişti. Su, üstlerinde yoğuştuğundan sis oluşumunu kolaylaştırıyordu. Elektrik yüklerince yaratılmış böylesi bir sis içinde, damlacıkların oylumu (=hacmi) düşme hızından, sayısı da çöken toplam sudan ya da başlangıçtaki aşırıdoygunluk kullanılarak ölçülebilir. Bu verilerden de sis içindeki damlacıkların sayısı elde edilebilir. Sisin taşıdığı doğrudan ölçülebilen toplam yükten, ortalama bir damlacık üzerindeki elektron yüküne özdeş yük bulunabilir.

Cavendish işliğinde yapılan bu çalışma, elektronun yükünü yaklaşık 3 x 10^{-10} mutlak elektrostatik birimi (Ç.N. 9) olarak verdi. *e / m* 'nin ölçülen değerinden de elektron kütlesi bulunabilirdi.

(Ç.N. 9) Elektrik yükü değerleri için kullanılmış bir birim.



Resim 1.7 Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923) x- ışınlarını keşfettiği yıllarda (Deutsches Müzesi, Münih.)

Damla yöntemi daha sonra R. A. Milikan (1910) tarafından Amerika'da daha da inceltildi. Sis değil, tek tek damlacıkları gözledi ve yöntemi elektron yükü için 4.78 x 10^{-10} esu sayısını verecek kadar duyarlığa dönüştürdü. Yıllarca bu sayı doğrudan ölçülenlerin en iyisiydi. Bununla birlikte, 1929'da, olası oranlama hatasından (=estimated possible error) çok daha büyük, yaklaşık yüzde 1'lik hatalı olduğunun açığa çıkması, herkesi şaşkınlığa uğrattı. Uymamanın kaynağının, hava yapışkanlığının eksikli ölçümünde yattığı bulundu. Bugün elektronun yükünün değeri milyonda 3'lük bir duyarlıkla bilinmektedir ve 4,803242 x 10^{-10} esu'dur; e/m, milyonda 6'lık duyarlıkla bilinmektedir ve 5,272764 x 10^{17} esu/g'dır.

Elektronun keşfinin önceki önemi, 1895 sonunda ortaya çıkan bir başka keşif ile gölgelendi. Bu büyük keşif, "yeni bir tür ışın" ilanı ve ışınlarının neler yapabileceğini kanıtlamasıyla dünyayı sarsan W. C. Röntgen (1845-1923) tarafından gerçekleştirildi.

Wilhelm Conrad Röntgen

Wilhelm Conrad Röntgen (Resim 1.7) Prusya'nın Lennep kentinde doğdu. Annesi Felemenk'ti ve üç yaşındayken ailesi Hollanda'daki Apeldoorn'a göç etmişti. Hollanda'da öğrenim gördükten sonra, Röntgen Polytechnic Institute'de makina mü-

Resim 1.8 Röntgen'in x-ışınları ya da "Röntgen ışınları" kullanarak elde ettiği elin parmaklarını gösteren ilk görüntülerden biri. 22 Aralık 1895'de

hendisliğine yazılmak üzere 1865'de Zürih'e gitti. İlkin büyük ısıdinamikçisi Rudolph Claussius ile çalıştı sonra da, çok yakın olacağı August Kundt ile. Kundt'un en önemli katkıları akustik alanında olmuşta ama Avogadro sayısının kaba sayılsa bile ustaca belirleyicisi olarak da tanınır.

Röntgen Polytechnic Institute'den 1868'de mezun oldu ve 1869'da Zürih Üniversitesi'nden doktora aldı. 1870'de Kundt'un asistanı olmak üzere Almanya'ya döndü, önce Würzburg sonra Strasbourg'da; Privat Dozent oldu (Ç.N. 10) ve 1875'de, küçük bir Alman üniversitesinde kadrolu bir profesör, iyi ama olağanüstü olmayan bir fizikçi olarak normal akademikuğraşına başladı. 1888'de taşınım (=convection) akımıyla iletim (=conduction) akımının aynılığını gösterdiği önemli bir çalışma yaptı. Böyle bir bulgu bugün önemsiz görünebilir, ama anımsamalıyız ki Faraday da zamanında hiçbir biçimde açık olmayan bir gerçeğe, bir elektrostatik makinanın ürettiği elektrik ile pilden gelen elektriğin aynı olduğuna kendini inandırmak için epeyce uğraşmıştı. Röntgen, yükleri hareket ettirmekle elde edilen akımın teldeki akımla aynı olduğunu kanıtladı.

(Ç.N. 10) (o zamanki) Alman üniversitelerinde bir akademik derece. Dereceler, 'post' adı verilen ara basamaklarla yükseliyordu.

Gününün genel bir ilgi alanı olan çeşitli özgün ısıların da ölçümlerini başarıyla yapmıştı. Üniversiteden üniversiteye dolaştı ve 1888'de Kundt'un yardımcısı olduğu iyi bir üniversiteydi. 1895 Kasım başına dek Röntgen şimdi hemen hemen unutulmuş kırk sekiz makale yazmıştı. Kırk dokuzuncusuyla altın madenini buldu.

8 Kasım 1895 akşamı, Röntgen baştan başa siyah bir karton kapladığı bir Hittorf tüpüyle çalışıyordu. Oda tümüyle karanlıktı. Tüpten biraz uzakta baryum pilatin siyanidle işlenmiş ekran olarak kullanılan bir kağıt yaprağı vardı. Röntgen şaşkınlıkla onun ışıdığını, ışık yaydığını gördü. Işık yayma tepkisi gösterdiğine göre, ekrana birşeyler çarpmış olmalıydı. Ama Röntgen'in tüpü siyah kartonla kaplıydı ve ondan hiç ışık ya da katot ışınları geliyor olamazdı. Bu beklenmedik olguyla şaşkına dönmüş olarak Röntgen konuyu biraz daha araştırmaya karar verdi. Ekranı döndürüp baryum platin siyanidsiz yüzünü tüpe çevirdi; ekran hâlâ ışımaktaydı. Ekranı tüpten uzaklaştırdı ama ekran ışımaya devam etti. Sonra da tüp ile ekran arasına birçok nesne yerleştirdiğinde tümü saydam göründü. Elini tüp, önüne koyunca kemiklerini ekranda gördü (Resim 1.8). Konu üzerindeki ilk yayınında adlandırdığı üzere, "yeni bir ışın türü" bulmuştu.

Röntgen işliğinde yalnız çalışıyordu. İzleyen günlerde de gözlemlerinden hiç kimseye söz etmeksizin kendi başına çalışmayı sürdürdü. Eşi, zihinsel uğraşını farketti ama nedenini bilmediğinden kaygılanmaya başladı. Kocasının tüm söylediği önemli bir şey üzerinde çalıştığıydı. Sonraları, Röntgen, ağzı sıkılığını bozup, güç inanılır birşeyle yüz yüze olduğunu, keşfinden şaşkına döndüğünü, kendini bu yeni ışınların varlığına tekrar tekrar inandırmaya ihtiyaç duyduğunu açıkladı. Sonunda bulgularını fotoğraf levhaları üstüne saptadı ve keşfinden ancak böylelikle emin oldu. 28 Kasım 1895'te, Würzburg Fizik-Tıp Topluluğu (Ç.N. 11) sekreterine taslak halinde bir makale verdi. Makale hemen basıldı ve 1896 Ocağının ilk günlerinde dağıtıldı. Bu ağırbaşlı kısa mektupta (=communication) Röntgen ilk duygu ve kuşkularından hiç sözetmedi. Makale şöyle başlıyordu:

> *Bir Hittrof, ya da yeterince seyreltilmiş ve sıkı sıkıya kalın karakartonla sarmalanmış bir Lenard, Crookes, ya da benzeri bir aygıt üzerinden büyücek bir Ruhmkorff makarasından yükboşaltımı geçirirsek, tümüyle karartılmış bir odada baryum platin siyanid kaplanmış ekranın parlakça ışıdığını ve aynı biçimde işlenmiş yüzün ya da boşalım tüpüne dönük diğerinin floresanslandığını gözleriz.*
>
> *["ÜbereineneueArtvon Strahlen," Sitzungsberichte der Phys. Mediz. Gesellschaft zu Würzburg 137, 132 (1895). Çeviri Nature 53, 274 (1896)]*

Röntgen yedi haftalık "gizli" araştırmalarının bulgularını betimlemeyi sürdürdü:

(Ç.N. 11) O zamanlar bu tür yörel bilim demekleri/toplulukları bilimsel konularda hakemlik yapabilecek biricik organlardı.

nesneler "yeni ışınlara" karşı değişik ölçülerde saydamdı; fotoğraf levhaları x-ışınlarına duyarlıydı; ışınları bir manyetik alanla saptıramadığı gibi, farkedilir ölçüde yansıdığı ya da saçıldığını da gözleyememişti; x-ışınları cam tüpün duvarında katot ışınlarının vurduğu alandan çıkıyordu.

1 Ocak'ta, büyük karışıklığa yolaçan önbaskıları (Ç.N. 12) dağıttı. Makalesi inanılmazdı - makalesiyle birlikte karşı konulmaz bir kanıt olarak ellerin x-ışınıyla çekilmiş fotoğraflarını da göndermişti. Bu ilk mektubu alanlar arasında Boltzmann, Warburg, Kohlrausch, Lord Kelvin, Stokes ve Poincaré vardı. Röntgen'in makalesini okur okumaz bilimciler kendi işliklerine koştular, kıvılcım makaralarını alıp x-ışınlarını görüp göremeyeceklerini bulmak için kurdular ve gördüler.

Ocak 1986 içinde, x-ışınlarının keşfi haberi tüm dünyada büyük bir heyecan yarattı. Hemen herşeyin karşısında saydamlaştığı, insanın kendi kemiklerini bile görebildiği bu ışınlara duyulan sınırsız merakı gözümüzde canlandırabiliriz. Parmaklar etsiz ama takılı yüzüklerle, ya da gövdeye girmiş bir mermi açık seçik görülebiliyordu. Tıbbi kullanım olanakları hemen kavrandı. 1896'da henüz çocuk olan geleceğin bir fizikçisi A. N. da Costa Andrade'a Tanrı'nın heryerde ve herşeyi görebileceği öğretilmişti ve x-ışınlarını duyduktan sonra, önce kuşkulandıklarına inanmaya başlamıştı. 23 Ocak'da, Fizik-Tıp Topluluğu önünde Röntgen keşfi üzerine biricik halka açık dersini verdi. Bir alkış fırtınasıyla selamlandı.

Bu heyacanın bir kısmı otuz yıl sonra Roma'da öğrenciyken bana da ulaştı. Fizik Enstitüsü'nün eski müdürlerinden biri Agusto Zanchi, bir zamanlar nasıl İtalya Kraliçesi'nin x-ışınlarını görmeyi arzulayıp bir tanıtlama sunmasını fizik profesöründen istediği için, bütün geceyi bir tüpü civa pompasıyla boşaltmaya çalışarak geçirmek zorunda kaldığını anlatmıştı. Zavallı müdür tüpü yeterince boşaltamayabileceğinden korkmuş, ama bereket versin başarmış, Kraliçe de muradına ermişti.

Röntgen'in x-ışınları çalışması dönemin bilgi dağarcığı ışığında kesinlikle yetkindi. Ama x-ışınlarının doğasını anlayamamıştı. Ünlü 1895 makalesinin sonuç bölümünde şunları yazmıştı:

> *Yeni ışınlar, esirin uzunlamasına titreşimlerinden dolayı olamaz mı? İtiraf ederim ki araştırmam süresince bu görüşe giderek daha çok güven besledim ve şimdi bu açıklamanın daha pek çok doğrulama gerektirdiğini iyi bilsem de kuşkumu açıklamayı zorunlu görüyorum.*

"daha pek çok doğrulama" hiçbir zaman yapıl(a)madı, ama x-ışınlarının doğası üzerine

---

(Ç.N. 12) Bir bilimsel makale dergiye gönderilip, derginin isteyebileceği gerekli düzeltmeler yapıldıktan sonra basımı kabul edilirse; basım tarihine dek doğabilecek bilimsel gelişme gecikmesini önlemek amacıyla, makalenin yazarına genellikle 20-50 tane önceden basılıp gönderilir. 'Preprint' denen bu önbaskıları yazar, konuyla ilgilenen bilimcilere dağıtarak inceleme, tartışma ve katkıya açar.

çıkan tartışmayı sonuçlandırmak Max von Laue, Friedrich ve Knipping'in çalışmalarıyla temizinden bir onaltı yıl aldı.

Röntgen keşfini izleyen aylarda konferans vermesi için dünyanın her yerinden çağrılar aldı ama x-ışınlarını araştırmayı sürdürmek için, biri dışında tümünü geri çevirdi. Yeni ışınları tanıtlamasını isteyen meslekdaşlarına kısa notlar yollayıp konferans ya da tanıtlama için hiç zamanı olmadığını bildirdi. O geri çevrilmeyen biricik çağrı Kaiser'den gelmişti ve Röntgen x-ışınlarını 13 Ocak 1896'da Kaiser'e tanıtladı.

Kaiser'e tanıtlama düşüncesi Röntgen'i kaygılandırmıştı. "Umarım tüp konusunda 'Kaiser şansı'na sahip olurum" demişti, "çünkü bu tüpler çok hassas ve sıkça kırılır ... yenisini boşaltmak da dört gün sürer." Ama hiçbir şey kırılmadı. Röntgen'in katıldığı bir huzura kabul, konferans ve tanıtlamanın yanısıra Kaiser'le akşam yemeği, bir madalya (Kronen-Orden 2. Klasse) alış ve ayrılışta Majestelerin huzurundan geri geri yürüyerek çıkış. Bu bağlamda klorofil bileşiklerini çözümleyen büyük organik kimyacı Richar Willstatter, amonyağın bireştiricisi (=synthesizer) Fritz Haber ile birlikte, keşiflerinden sonra, birlikte Kaiser'den çağrı beklediklerini anlatır. Bu yüzden geri geri yürüme talimi yapmaya karar vermişlerdi. Willstatter çin sanatı kolleksiyoncusuydu ve talim yaptıkları salonda eşsiz bir çin vazosu bulunmaktaydı. Beklendiği üzere, vazonun çatırdayarak kırılmasıyla talimler sona erdi. Kaiser tarafından çağrılmadılar, ama talimleri boşa gitti sayılmaz. Sonraları Nobel Ödülü kazandılar ve protokol gereği ödülü İsveç Kıralı'nın elinden aldıktan sonra geri geri yürüdüler.

8 Ocak 1986'da, Röntgen yakın arkadaşı Ludwig Zehnder'e keşfini çevreleyen olayları canlılıkla betimlediği şu mektubu yazdı.

Sevgili Zehnder! İyi arkadaşlar hep sona kalır. Bu hep böyle olur. Ama sen yanıt alan ilksin. Yazdığın herşey için teşekkürlerimi kabul et. Yine de X ışınlarının hakkındaki kurgularını, doğası bilinmeyen bir olguyu tümüyle karşı çıkılamaz olmayan bir varsayımla açıklama girişimi yararlı ya da yerinde sayılır görünmediğinden kullanamam. Işınların hangi doğada olduğu tümüyle açık değil bana. Gerçekten uzunlamasına dalgalar olup olmadığı da ikincil önemde bence. Olgular asıl önemli olandır. Bu bakımdan araştırmam birçok kurmaydan kabul gördü. Boltzmann, Warburg, Kohlrausch, ve (daha kimler) Lord Kelvin, Stoke Poincaré ve birçokları bana keşiften duydukları sevinçlerini ve takdirlerini bildirdiler. Bu benim için gerçekten pek çok şeye bedeldir, bırak kıskançlar sinsice konuşsun. Beni hiç ilgilendirmiyor.

Hiç kimseyle çalışmam hakkında konuşmadım. Karıma sadece, öyle bir şey yapıyordum ki, insanlar ne olduğunu öğrenince "Der Röntgen ist wolh verrückt geworden." [Röntgen gerçekten delirmiş.] diyeceklerinden söz ettim. 1 Ocak'ta önbaskıları postaladım, acısı sonra çıktı. Wiener Presse ilk "die Reklametrompete" [reklam trompeti]'ni öttürdü, sonra da ötekiler izledi. Bir kaç gün içinde herşeyden tiksindim. Kendi çalışmamı basında artık tanıyamaz oldum. Fotoğrafçılık benim için amaca gö türen bir araçtı, ama en önemli işi o yaptı. Yavaş yavaş velveleye alıştım. Tam dört haftadır bir tek deney bile yapamadım. Burada herşeyin nasıl altüst olduğunu bilemezsin. Söz ver-

diğim fotoğrafları gönderiyorum. Onları derslerde göstermek istersen, bence uygun. Ama onları cam altına koyup çerçevelemeni salık veririm, yoksa çalarlar. Sanırım açıklamaların yardıyla zorlukla karşılaşmazsın; olmazsa yaz bana.

Büyük bir 50/20 santimetrelik Ruhmkorff'u Deprez kesicisi ve yaklaşık 20 amperlik ilkakım ile birlikte kullanıyorum. Raps pompasına bağlı duran aygıtım, birkaç günde boşalıyor. En iyi sonuçlar paralel bağlı yükboşalımcısının kıvılcım aralığı üç santimetre kadar olduğunda elde ediliyor. Zamanla tüm aygıtlar (biri dışında) delinecek. Tesla'ya göre herhangi bir katot ışın üretim yöntemi başarılı olabilir, akkor lambalılar ve elektrotsuz tüplerle birlikte. Fotoğraflar için, deney koşullarına bağlı olarak üç ile on dakika kullanıyorum.

Derslerin için pusula kutusu, tahta yuvak (=wood roll), ağırlık seti ve çinko yaprak ile Zürihli Pernet'in çektiği incelikle korunmuş bir el fotoğrafı yolluyorum. Ama lütfen bunları mümkün olduğunca çabuk geri gönder, sigortalı. Büyükçe bir platinosiyanidli ekranın var mı? Evden eve en içten saygılar.

Sizin Röntgeniniz

[Dr. W. C. Röntgen, sayfa 87]

Röntgen'in keşfinden sonra fizikçiler ve tıpçılar yeni ışınlar aramaya koştu. 1896 yılında konu hakkında 1000'den çok yayın vardı. Röntgen'in kendisi 1896 ve 1897'de sadece iki tane daha yazdı. Sonra eski konularına geri döndü ve izleyen yirmi dört yıl içinde geçici ilgi uyandıran yedi yayın daha yapıp x-ışınları araştırmasını genç ve taze güçlere bıraktı. Bunun nedeni üzerine sadece spekülasyon yapılabilir.

1902'de (Ç.N. 13) fizik Nobel Ödülü'nü kazandı. 1900'de Deneysel Fizik Enstitüsü yöneticiliğini üstlendiği Münih'e taşınmıştı. 1914'te Alman bilimcilerinin askeri Almanya ile dayanışmasını açıklayan ünlü bildiriyi imzaladı, ama sonra pişmanlık duydu. Birinci Dünya Savaşı sırasında ve izleyen enflasyon döneminde (Ç.N. 14) çok acılar çekti ve 10 Şubat

1923'de 78 yaşındayken öldü.

(Ç.N. 13) Başka kaynaklarda 1901. 1901 yılının ödül töreni 1902'de yapılmış da olabilir.

(Ç.N. 14) O dönemde bir yumurtanının, 3,4 milyar Alman markına çıktığı anlatılır.

2

H. Becquerel, Curieler ve Işımaetkinliğin Keşfedilmesi

1895 dolayındaki yıllar salt x-ışınlarının, elektronun ve Zeeman etkisinin keşfinden değil ama çok daha devrimsel ışımaetkinliğin keşfinden ötürü de fizikte bir dönüm noktasını işaretler.

1895'in sonunda Röntgen "yeni ışınlar"ını duyurduğu önbaskılarını, bir matematikçi olup temel fizik araştırmasına büyük ilgi gösteren Poincaré'nin de aralarında bulunduğu birçok meslekdaşına gönderdi. Poincaré katot ışınları üzerindeki tartışmalara, tanecikli yapılarını tanıtlama girişimiyle katılmıştı. Röntgen'in keşfi Poincare'i olasılıkla herhangi bir Fransız bilimcisinden daha çok heyecanlandırdı (yine de, sadece Bilimler Akademisi'nin *Comptes-Rendus'u*nda 1896'nın ilk yarısında 135 mektup ve kısa not basılmıştı).

Poincaré Bilimler Akademisi'nin üyesiydi ve haftalık oturumlarına katılma alışkanlığındaydı. 20 Ocak 1896 oturumunda, Röntgen tarafından gönderilen ilk x-ışını fotoğraflarını gösterdi. Akademideki meslekdaşlarından biri, Henri Becquerel, ışınların tüpün hangi bölümünde ortaya çıktığını sorunca Poincaré ışınların katot karşısındaki bölgeden, camın floresanslandığı bölgesinden salıveriliyormuş gibi göründüğü karşılığını verdi. Becquerel anında x-ışınları ile floresanslanma arasındaki olası ilişkiyi düşündü ve hemen ertesi gün floresan nesnelerin x-ışınları salıp salmadığını sınamaya başladı, böylece birkaç hafta içinde ışımaetkinliğin keşfine götüren bir dizi deneyin ilk adımlarını atmış oldu.

Becquerel'in "Yazgısal" Keşfi

Floresanlanma ve yakamozlanmaya ilgi Becquerel ailesinde yaygındı. Henri Becquerel'in babası, Edmond, Antoine César Becquerel'in oğlu ve Henri Becquerel Jean Becquerel'in babasıydı. Bu dört kuşağın temsilcileri hep seçkin fizikçilerdi ve hemen hemen

seksen yıldır, 1828'den 1908'e dek Akademi'de her zaman bir, bazen de iki Becquerel vardı. Bu dikkat çeken hanedan hakkında birkaç söz etmeye değer, çünkü öykü kısmen de olsa Henri'nin ışımaetkinliği keşfetmeye --kendisinin dediği gibi nasıl yazgılı olduğunu göstermektedir.

Henri'nin büyükbabasıyla başlamalıyız. Antoine César Becquerel (1788-1878) tam da genç bir insan olduğunda Napoleon'a hizmet edeceği bir zamanda doğmuştu. Fransa için yıllardır zengin bir teknik, bilimsel ve askeri uzmanlık kaynağını hep sağlamış olan Politeknik

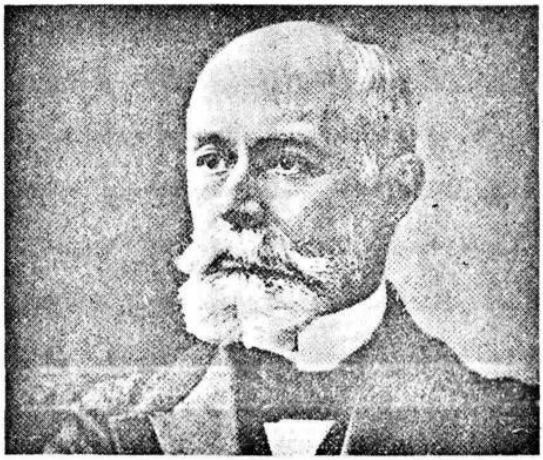
Okulu'ndan mezun ilk subaylardan biriydi. Fransız biliminin birçok büyük insanı, öğrencilerine askeri üniforma giydiren, sosyal sınıfların her belirtisini silen ve sıkı disiplin ile derin bir milliyetçi ruh veren bu okulda eğitilmişti. Bir kez ben de Politeknik Okulu'nda ders verme fırsatını elde etmiştim ve anımsıyorum, konuştuğum kürsü üzerindeki geçmiş profesörlerin adlarını okumuştum: Arago, Ampére, Poisson, Fourier, Cauchy, Fresnel, Monge, Becquerel ve birçok başkaları. Liste herhangi bir yabancı hocayı korkutmaya yeterdi. *politeknisyen* yani Politeknik Okulu mezunu olmak bilimsel, teknik ve askeri kariyer yapmak için gerçek bir zorunluluk haline gelmişti, Piere Curie'nin ise güçlükleri vardı çünkü oradan mezun değildi.

Politeknisyen Antoine César Becquerel, Napoleon'un 1810-1812'de İspanya'daki savaşlarına katılmış, ama 1815'de, Napoleon'un düşüşünden sonra ordudan istifa etmişti. Seferler sırasında yaralanmış ve sağlığının bozulduğu, sadece kısa bir ömrü kaldığı söylenmişti. (Doksanına dek yaşadı.) Sonraları dikkatini fiziğe yöneltti ve kısa sürede Paris'deki Musée d'Historie Naturelle'de (Ç.N. 15) fizik profesörü, sonra da yöneticisi oldu. 529 makele ve biri yedi ciltlik altı derskitabı yazdı. Yakamozlanma üzerine araştırmalar yaptı ve kitaplarından ikisinde bu konuyla ile uzun uzadıya ilgilendi. Elektrikısıl etkilerden bazılarını keşfettiği elektrik ve elektrokimya çalışmalarıyla da tanınır. Bütün bunlarla iyi tanınan ve çok sayılan bir insandı. Çocukken beni fizikle tanıştıran Ganot'nun derskitabının o eski basımını (Ç.N. 16) okurken, adına sıkça rasladığımı anımsarım.

Antoine César'ın oğlu Edmond (1820-1891) babasının adımlarını, askerlik hizmeti dışında, yakından izlemişti. Politeknik Okulu'na girmiş, Musée'de babasının yardımcısı ve sonra da aynı yerde profesör olmuştu. Musée'de profesörlük babadan oğula geçen ve en sonunda Antoine César'dan torunçocuğu Jean'a (1878-1953) dek uzanan bir tür soydangelme güven unsuru sayılmaktaydı. Becquerellerin dört kuşağı, Jean'ın bir makalede yazdığı gibi "*meme maison, meme jardin, meme laboratoire*" [aynı ev, aynı

(Ç.N. 15) Doğa Tarihi Müzesi. Ne ki; burada müze sözcüğü, bugün bizim bildiğimizden farklı olarak bir araştırma ve eğitim kuruluşu anlamı taşımaktadır. İlk Müze, Hellenistik Dönem'de İskenderiye'de kurulmuştu.

(Ç.N. 16) Bu kitabın 4. sayfasına bakınız.



Resim 2.1 Henri Becquerel (1852-1908). Tümü de fizikçi olan Becquerellerin üç kuşağı, zaman zaman birlikte, Fransız Akademisi üyesiydi. (Ciccione, Rapho.)

bahçe, aynı işlik]te, Cuvier'in evi önündeki Jardin des Plantes'de yaşadı. Edmond Becquerel ışığın kimyasal etkisini çalıştı ve güneş tayfını ilk fotoğraflayan oldu. Floresans konusunda da büyük bir uzmandı ve özellikle iyi bildiği madde uranyumdu. Bir floroskop (Ç.N. 17) yaptı ve değişik ışıklar altında uranyumun floransının süresini ve yeğinliğini ölçtü.

Röntgen'in keşfi zamanlarında Edmond Becquerel'in oğlu Henri (1852-1908), Politeknik Okulu'nda profesör olup babasının Musée d'Histoire Naturelle'deki makamını devralmış ve yakamozlanma ve floresans üzerine makaleler yayımlamıştı (Resim 2.1). Poincaré'den x-ışınlarının keşfini öğrendiğinde, niçin iki olgunun birbiriyle ilintili olduğunu düşündüğü şimdi açıktır. Gelgelelim, Henri'nin ilk deneyleri olumsuz sonuçlar vermişti: Denediği yakamozlanan ya da floresanlı maddeler x-ışınları yaymamıştı. Bu arada, Poincaré, 30 Ocak 1895'de, *Revue générale des Science*'de yeralan x-ışınları üzerine bir makalesinde şu soruyu sormuştu, "*Floresanlıklarının nedeni ne olursa olsun*, floresanı yeterince yeğin olan tüm cisimler görünür ışık ve Röntgen'in x-ışınlarının her ikisini birden yayar mı?" Eğer böyleyse, demişti, bu tür olgu elektriksel bir nedenle ilintilendirilemez.

Becquerel deneylerine yeniden başladı ve bu kez, daha önce babası tarafından çalışılmış olan bir uranyum tuzunu, uranil potasyum sülfatı denedi. 24 Şubat'ta Akademi'ye şunu rapor etti:

> *Bir fotoğraf levhasını... bütün gün güneşe tutulmuş olmasına karşın lekelenmesine yolaçmayacak kadar kalın iki siyah kağıt ile... kapladım. Kağıdın üzerine bir fosforesans katmanı yerleştirip, herşeyi saatlerce güneşe tuttum. Fotoğraf levhasını banyoladığımda fosforesan nesnenin silüetini negatif üzerinde siyah olarak gördüm. ... Aynı deney, güneş ışınlarınca ısıtıldığında nesneden çıkabilecek buhardan mey-*

(Ç.N. 17) fluoroscope: bazı maddelerin ışıkla aydınlatılmasından sonra da ışımanın sürmesi (=fluoresence) olgusunun ölçümlerinde kullanıl(mış ol)an bir aygıt. Günümüzde daha gelişkin yöntem ve aygıtlar kullanılmaktadır.

dana gelebilecek kimyasal etkilenme olasılığını dışla amacıyla, fosforesan cisim ile kağıt arasına konmuş ince bir cam levhayla da yinelenebilir. Öyleyse bu deneylerden sözkonusu fosforesan cismin ışık geçirmeyen kağıda işleyen ışımalar yaydığı sonucunu çıkarabiliriz. ...

[Comptes-rendus de l'Academie des Sciences, Paris 122, 420 (1896)]

Uranyum bileşikleri floresanlandığında gerçekten de x-ışınları yayımlıyormuş gibi görünüyordu. Ama bir hafta sonra, 2 Mart'ta, Akademi toplantıya yeniden çağrıldığında Becquerel daha pekçok şey öğrenecekti. Daha pekçok şey öğrenmesinin nedeni, Paris'te havanın değişmesiydi! Önceki deneyleri yinelemeye çalışmıştı, ama hava 26 ve 27 Şubat'ta bulutluydu ve güneş yeterince uzun sürelerle görünmemişti. Bu yüzden uranyum örneklerini yerinde, sarmalanmış levhalar üzerinde bırakarak herşeyi karanlık bir çekmeceye koydu. Akademi'ye şunları bildirdi:

Güneş yine günlerce yüzünü göstermediğinden, görüntüleri çok zayıf bulacağımı umarak, Mart'ın 1'inde levhaları banyoladım. Beklenenin tersine, görüntüler büyük yeğinlikle belirdi. Hemen etkinin karanlıkta da yürüyebileceğini düşündüm.

[Comptes-rendus 126, 1086 (1896)]

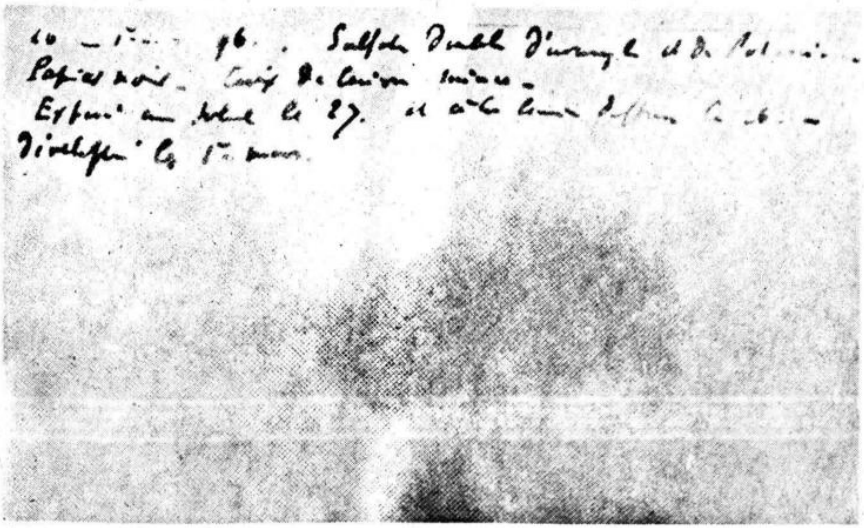
Resim 2.2 Becquerel'in levhaları banyolamasından sonra gördüğü "silüetler"den birini göstermektedir. Becquerel çok önemli birşey keşfetmiş olduğunu çabucak kavradı. Önceden güneşe gösterilmiş olsun ya da olmasın uranyum tuzu siyah kağıttan geçebilecek ışınlar yaymıştı.

İşte raslantının, şansın, zekanın ve uyanıklığın çok önemli olduğu tipik bir yaratıcılık anı. Henri Becquerel keşfinde babası ve büyükbabasının onuru hak ettiğini de söylemişti. Ona göre çalışma, tam zamanında ışımaetkinliğin keşfine yol açması için, yaklaşık altmış yıldır onların işliğinde ölümüne yazgılı olarak kovalanmıştı. Ama Becquerel'in keşfi, zamanında Röntgen'inkiyle boy ölçüşmüş, Röntgen'in uyandırdığınca coşkuya yol açmış görünmemektedir. Bilimciler "Becquerel'in ışınları"nı daha çok keşfedenine bırakarak x-ışınları üstüne tartışmayı sürdürdüler. 9 Mart 1896'da Becquerel uranyum tarafından yayılan ışınımım korunmuş fotoğraf levhalarını karartmakla kalmayıp, gazları iyonlaştırıp iletken kıldığını da bulmuştu. Bundan sonra bir örneğin "etkinliği"ni ölçmek basitçe ürettiği iyonlaşmanın ölçülmesiyle mümkün olacaktı. Bu ölçüm için kullanılan aygıt kaba bir altın yapraklı elektroskoptu. (Ç.N. 18)

Curieler ve İleri Doğru Büyük bir Adım

Öykümüzün bu noktasında, Becquerel'in keşfinden yaklaşık iki yıl sonra Pierre ve

(Ç.N. 18) electroscope: üzerindeki elektrik yük miktarını, hareketli metal yapraklarının birbirini itmesiyle açığa vuran aygıt. Basit tanıtlama amaçlarıyla okul işliklerinde halen kullanılmaktadır.



Resim 2.2 "Becquerel ışınları"nca işaretlenmiş ilk levha. 26 Şubat 1896'da biraz uranil potasyum sülfatın altına konmuştu; sonra 1 Mart'ta Becquerel levhayı banyoladığında, uranyumun doğası bilinmeyen, inanıldığı üzere uranyum tuzunun fosforansına dayalı olmadan bir ışıma yaydığını kavradı. *"Becquerel ışınları"nın keşfi Comptes-rendus de l'Académie des Sciences de Paris* [122, 501 (1896)]'da yayınlanmıştı. (CEA.)

Marie Curie sahneye çıkar. Becquerel çalışmasını sürdürmüyor değil; tersine, canla başla uğraşıyordu. Bununla birlikte kendini ışınlarına kaynak olarak uranyumla kısıtlamıştı; uranyum en iyi bildiği maddeydi de ondan. Yıllar sonra şunları yazdı, "Ama uranyumun yeni ışınları fark edildiğinden bu yana, önsel (=a priori), başka bilinen cisimlerin etkinliğinin önemlice büyük olabileceği pek uygun görünmediğinden, yeni olgunun genelliği üzerine araştırma yapmak fiziksel doğası üzerine çalışma yapmaktan daha az kaçınılmaz görünmektedir." Böylece ileri doğru büyük biradım atan da Becquerel değil Curieler oldu: Başka ögeleri araştırdılar ve önce polonyumu sonra da radyumu keşfederek yeni ışımaetkinlik bilimini tümüyle devrimcileştiren güçlü kaynakları hazırladılar.

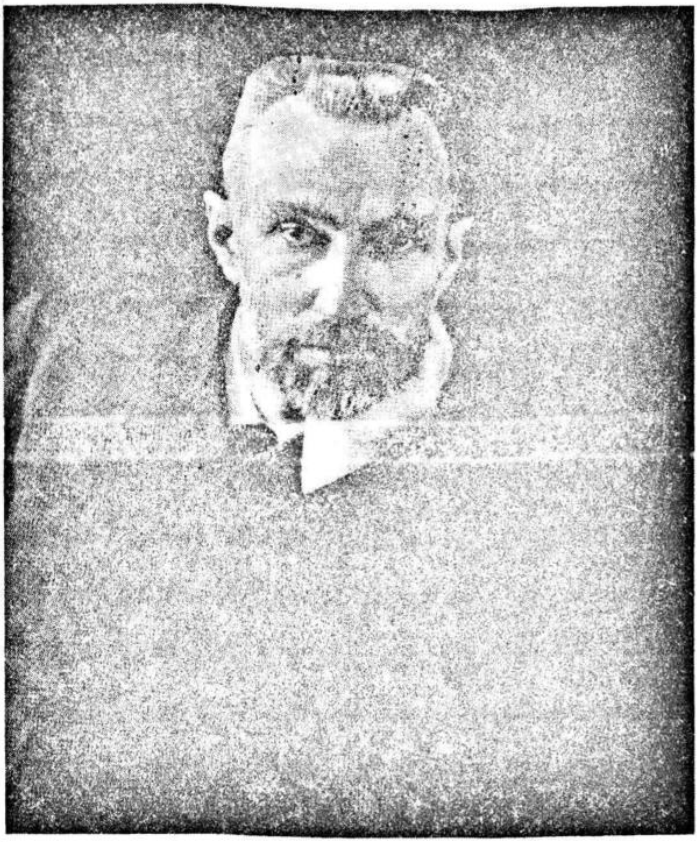
Madam Curie (1867-1934) nee Marya Skoldowska 7 Kasım 1867'de Varşova'da doğmuştu (Resim 2.3). Ailesi anne tarafından küçük soyluydu. Babası Vladislav Skolodowski, St. Petersburg'da öğrenim görmüş kültürlü bir çelebi (=gentleman), fizik ve matematik öğretmeniydi: Marie'nin doğumundan hemen sonra bir tür yüksek okul olan cimnazyumda profesör ve müfettiş yardımcısı olmuştu. Madam Sklodowska, bir kızlar okulundaki müdirelik görevini, Marie birkaç aylık olana dek sürdürmüştü. Sofu bir Katolikti ve kızını da ona göre yetiştirmişti; ama ölümünden hemen sonra onluyaşlarındaki kızı Marie inancını yitirdi ve katolikliğe asla geri dönmedi. Ailede bir erkek, Josef, ve üç kız evlat daha Hela, Bronya ve Marie vardı.

Aile, çocukların Rus-güdümlü ülkede hapsedilme ya da daha büyük tehlikeleri göze ala-

Resim 2.3 Maria Sklodowska Curie (1867-1934) ve Pierre Curie (1859-1906), en ünlü bilimsel ikili. [Oeuvres de Pierre Curie (Paris: Gauthier-Villars, 1908).]

rak el altından kültürel etkinliklere katılmaktan çekinmeyecek kadar koyu milliyetçiydi. Polonya; tarihi boyunca birçok kez komşuları tarafından işgal edilmiş, şimdi de Rusya'nın güdümü altına girmişti. Polonya okulları, Rus dilini kullanmaya ve istemedikleri kitapları benimsemeye zorlanıyordu. Polonya halkının Rus üstünlüğüne karşı duruşu dinsel, siyasal ve dil temellerine dayanıyordu. Duygular güçlü, durum gergindi. Ağabeyinin bir arkadaşı siyasi gerekçelerle asıldığında Marie derinden sarsılmıştı. Bu baskıya tepki olarak Polonyalılar fanatik milliyetçiler haline gelmiş, özgür Polonya'nın yeniden kurulduğu Birinci Dünya Savaşı sonrasında kendi şanslarını yakaladıklarında da, kaderin bir cilvesi, Almanlarla Yahudilerin arasında olduğu gibi, masum azınlıklara acımasızca baskı yapmışlardı.

Marie, parlak öğrenim hayatını on altı yaşındayken tamamladı. Bu arada, babası servetini yitirmiş bu yüzden de kızlar kendi yaşamlarını kazanmanın yolunu bulmak zorunda kalmıştı. Bronya ve Marie'nin belirgin bir yükselme tutkuları ve aralarında güçlü bağlar vardı. Çok kararlı, çok zeki ve çok Polonyalıydılar. Bronya tıp öğrenimi için Paris'e gittiğinde, kendi ve kısmen, önce Varşova'da sonra da taşrada birçok aile yanında



-hizmetçiden daha yüksek bir düzeyde olmayan - mürebbiye olarak çalışan Marie'nin birikimleriyle geçindi. Marie kıt birikimlerini, öğrenimini bitirir bitirmez Marie'yi madden destekleyeceği düşüncesiyle Bronya'ya gönderdi. Beklediği de oldu, 1891'de Marie, cebinde bir dördüncü sınıf tren bileti ve kırk ruble (yirmi dolar) ile Polanya'dan ayrıldı. 1891'de Paris'e fizik eğitimi için gelen Polonyalı bir genç kız düşünün! Slav kahramanlarının pek moda olduğu bir zaman için ne kadar da romantik bir durum. Bu özel kahramanı eşsiz yapan, dehaya ve gerçekten fizik çalışma amacına sahip olmasıydı.

Paris'deyken, Marie Bilimler Fakültesi'ne yazıldı ve Profesör Lippmann, Bouty ve ünlü yapıt "Mécanique Rationelle" [kuramsal mekanik]'in yazarı Appell'in fizik, kimya ve matematik derslerine girdi. Üniversite dışında Polonyalı göçmenler arasında yaşadı, bunlardan biri de yetenekli genç bir piyanist Paderewski'ydi. Marie'nin yaşamı yoksulluk yanıyla biraz da olsa kalenderdi (=bohem), ama sert disiplini ve sınırsız çalışma alışkanlığı kalenderlikle hiç mi hiç uyuşmuyordu. Neredeyse parasız ve azıcık yiyecekle, deliler gibi çalışıyor, araştırıyordu. 1893'de bir Polonya kuruluşundan 600 ruble tutarında karşılıklı bir burs, Alexandrowitch desteği kazandı.

Birkaç yıl sonra da ilk kazançlarından bursu geri ödemeye başladı.

1894'de Paris'i ziyaret etmekte olan bir fizikçi, Joseph Kovalski, onu Pierre Curie (1859-1906) ile tanıştırdı. Pierre Curie (Resim 2.3), hekim Eugene Curie'nin ikinci oğluydu. Resmen Protestan olan baba, solcu eğilimleriyle özgür düşünceli bir insandı. 1871 Komünü'nde döğüşçü değil ama evine kurduğu hastanin yöneticisi bir hekim olarak yer almıştı. Pierre, yavaş akıllı sayılan tuhaf bir çocukmuş gibi görünüyordu, ama babası, yeteneklerini özgürce geliştirmesi için onu kendi başına bırakacak kadar duyarlıydı, onu düzenli Fransız okullarına gitmesi için de zorlamadı. On dört yaşında Pierre, matematik öğretip Latince'de yardımcı olacak bir özel öğretmene verildi. Pierre'in matematiğe büyük yeteneği vardı, zeka gelişimi de çok hızlı oldu. Henüz on altısındayken, üniversiteyi bitirdi. 1883'de, yirmi dördündeyken, Paris Fizik ve Kimya Okulu'nun işliğinde, yirmi iki yıl sürdüreceği alçak gönüllü bir göreve, şef olarak atandı. Zor bir insandı ve patalojik sayılacak kadar onurluydu. Birçok Fransız bilimcinin mezun olduğu Politeknik Okulu'nda öğrenim görmemiş olması, daha parlak bir kariyerin önünc dikiliyordu.

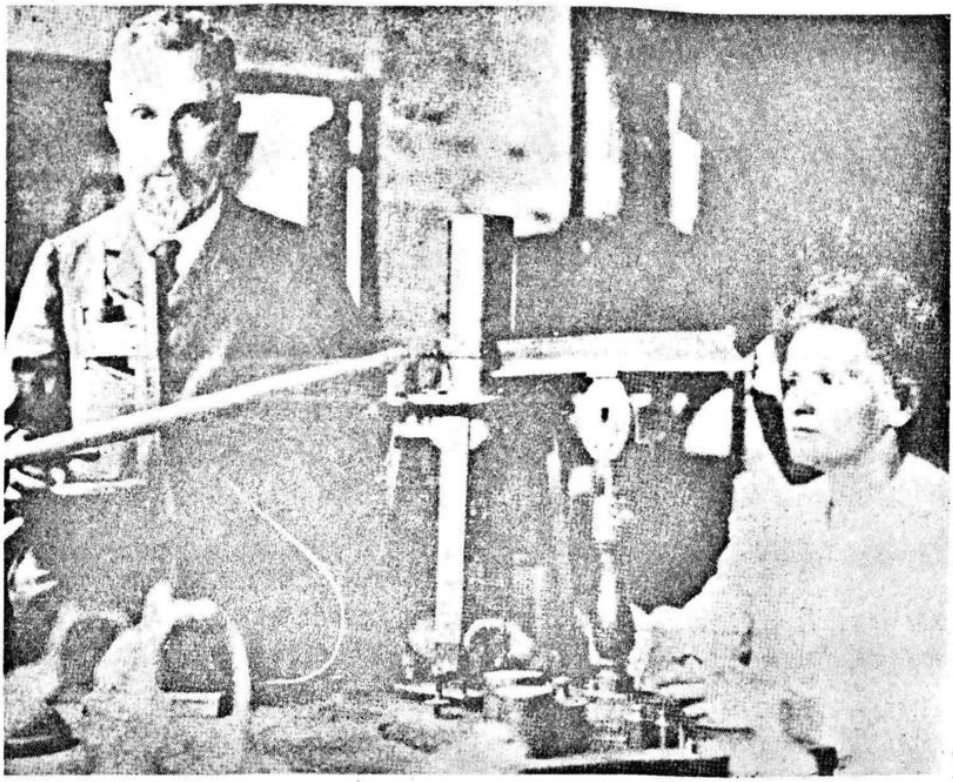
İlk çalışması, kristallerin bakışımı (=simetrisi) ve kardeşi Jaques ile birlikte keşfettiği baskılelektrik (Ç.N. 19) üzerineydi. Bakışım ilkesini genişletip birçok fiziksel olaya uyguladı; bu bağlamda mıknatıslık üzerine yaptığı çalışma bugün de ilginçliğini korumaktadır. Bildiğim kadarıyla, Pierre Curie, bugün grup kuramı denilen düşünceleri fiziğe sokan ilk insandır; bunların içinde kutupsal ve eksensel vektörlerin kesin ayrımı ve hangi olayların ortaya çıkabileceğine karar verişte bakışımın önemliliği vardır. Genel olarak Curie'nin ilk makaleleri, Eugene Wigner'in (Ç.N. 20) habercisi olduğunun izlenimini verir, zaman da bu bakış noktasının önemini artırmıştır. 1894'ün başlarında Marie Sklodowska'yı tanıdığında, çoktan iyi bir bilimsel ün sahibi olmuştu bile. Yeteneklerini, daha birçokları gibi Lord Kelvin de kabul etmişti.

Birkaç ay sonra o Polonyalı öğrenciyle ilk karşılaşmasından sonra, Curie evlenmeyi kafasına koymuştu. Kız açısından karar vermek hiç de kolay değildi. Pierre, o zaman için alışılmadık bir fark sayılmasa da, sekiz yaş daha büyüktü; yine de kız, evlenmeyi hiç düşünmemişti, en ciddi engel, evlenirse daha önceki niyetlerine karşın Polonya'ya asla dönemeyecek oluşuydu. Ama yaz tatili için Polonya'ya gittiğinde, Pierre Curie'nin uz dilli mektupları kızı yumuşattı. Pierre yetenekli bir yazar, neredeyse bir şairdi.

1895'de evlendiler ve balayında, Marie'ye verilen çeyiz parasıyla satın aldıkları bisikletlerle Fransa'yı baştan başa dolaştılar. Yaşamları boyunca birlikte dinlenmeleri doğayı bisiklet gezileriyle keşfetmeleri olmuştur. Evlendikleri sıra Madam Curie yeterlilik diye adlandırabileceğimiz sınavdan henüz geçmişti. İlk kızı İrène'in 12 Eylül 1897'de doğumundan çok kısa bir süre sonra, doktora tez konusu için, eşinin öğütlediği bir konuyu seçti. Eşinin önerisiyle, Becquerel'in keşfettiği "yeni olay"ı çalışmayı üstlendi. İlk olarak Becquerel'in deneyini yineledi. Ama olgunun daha büyük kesinlikle ölçümü için, Becquerel'in elk-

(Ç.N. 19) Piezoelectricity: bazı kristallere bastırıldığında ortaya çıkan elektrik.

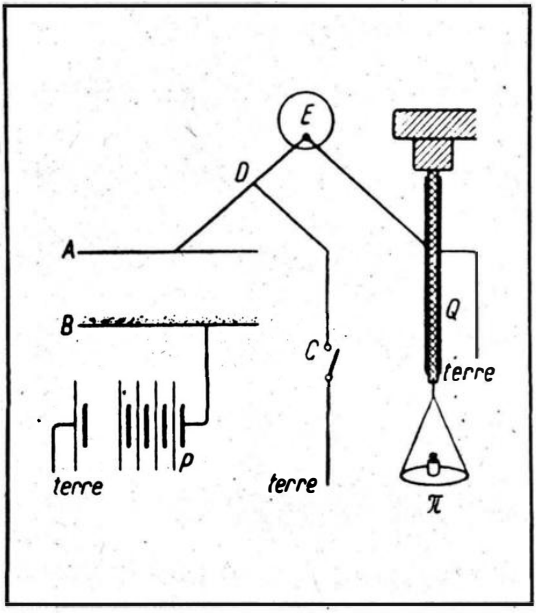
(Ç.N. 20) Dönemimizin en ilginç fizikçilerinden biri olan Eugene Wigner'den ileride sözedilecektir.



Resim 2.4 Pierre ve Marie Curie önlerindeki kuvars elektrometre ile işliklerindeler. (J. Hurwic'in izniyle)

troskopu yerine, Pierre Curie'nin yaptığı Resim 2.4'de gösterilen aygıtı kullandı. Bu aygıtta dikkate değer özellik, temel parçası bir baskılelektrik (kuvarz) kristali olan dengeleme düzeneğidir (baskılelektriğin Pierre ve Jaques Curie tarafından tümüyle araştırıldığını anımsayın). Curielerin sonraki deneylerinde kullanılan tüm elektrometreler ve Pierre'in ölümünden sonra Madam Curie'nin işliğindeki deneylerde kullanılan tüm elektrometreler hep bu aynı özelliği taşır. Yoksa Madam Curie'ye sonuçlar "doğru değil"miş gibi gelirdi. Bunlar gerçekten iyi aygıtlardı ve iyi çalıştılar.

Elektrometreyi (Resim 2.5) kullanarak, Marie Curie, Becquerel'in uranyumun ışımasının yeğinliğinin bileşikteki uranyum miktarıyla orantılı olup kimyasal biçiminden bağımsız olduğu bulgusunu doğruladı; eldeki örneğin bir uranyum tuzu mu, bir oksit mi, yoksa uranyum metali mi olduğu önemsizdi. Marie Curie sonuç olarak Becquerel'in ışınların yayımının uranyumun bir atomik özelliği olduğu bulgusunu onayladı. Sonra da "o zaman bilinen tüm ögeleri"



Resim 2.5 Marie Curie'nin *Révue générale des Sciences*'de [10, 41 (1899)] basılan makalesinden, elektro-metrenin taslak çizimi. Aygıt, B'ye yerleştirilen ışımaetkin özdeğin yaydığı ışımaların yol açtığı havadaki iyonlaşmanın ölçümünde kullanılmıştı.Işımaetkin öz-dek, AB yoğuşturucusunun (=kondan-satörün) alt levhası üzerine konurdu. E elektometresi, ağırlığın baskılelektrik quvarz içinde ürettiği gerilimin iyonlaştırma akımınca üretilen gerilimle tamamen dengelen mesini kontrol ederdi.

sınamaya karar verdi ve sadece toryumun "uranyumunkine benzer" ışımalar yaydığını keşfetti. Bu noktada, uranyumun kendiliğinden ışıma yayan tek öge olmadığını keşfinden sonra, Madam Curie bu olgu için ışımaetkinlik sözcüğünü önerdi. Yine bu noktada bir deha belirtisi olarak araştırmasını yalın uranyum ve toryum bileşikleriyle sınırlandırmayıp doğal maden filizlerini de incelemeye karar verdi. Müze koleksiyonundaki birçok mineralden alıp işe girişti. Beklediği üzere, uranyum ve toryum içeren mineraller ışımaetkindi. Ama, sürpriz olarak, bazılarının ışımaetkinliği uranyum ya da toryum tözlerinden hesap edilebildiğinden çok daha - ölçüm yöntemiyle, üç ya da dört kez- büyük çıktı.

Doğru sonucu çıkardı: Bu filiz örnekleri uranyum ya da toryumdan çok daha ışımaetkin bir öge içeriyor olmalıydı. Bu varsayımı açıklamadan önce bir sınama yaptı. Özel bir uranyum minerali, kalkolitin, topraktan yeni kazıldığında daha ışımaetkin olduğunu farketti. Şişelerde korunan saf ögelerden kalkolit yaptı ve yapay kalkolitin herhangi bir uranyum tuzundan daha etkin olmadığını buldu. Bu doğal filizin hayli ışımaetkin bir safsızlık (=impurity) türü içerdiğini kanıtladı. 12 Nisan 1898'de arkadaşı Lippmann, *Comptes-rendus*'da M. Sklodowska-Curie adıyla yayımlanacak olan ilk mektubu Bilimler Akademisi'ne sundu. Orada Curie, deneyini kısaca betimledi, (henüz *ışımaetkin* sözcüğünü bu makalede kullanmadan) yeni bir ışımaetkin ögenin varlığı varsayımını geliştirdi ve varsayımını nasıl sınadığını anlattı.

Gerçekten yeni bir öge varsa, Madam Curie onu bulacaktı. Ama nasıl? Sonraları ışımakimyasının temel yöntemi sayacağı bir yöntem buldu. Bu ögenin, kendiliğinden ışıma

yayması dışında hiçbir kimyasal özelliğini bilmediğinden, araştırmasına bu ışınları arayarak başlamak zorundaydı. Bir filiz örneği alıp, yapabilirse eritecek, genel kimyasal çözümleme (=analysis) yöntemleriyle bileşenlerine ayıracak ve ışımaetkinliğin nereye gittiğini elektrometre kullanarak saptayacaktı. Madam Curie o zamanlar uranyum madenlerinde yapılan niceliksel çözümlemelerin ağırlıkça % 1'lik belirsizlik bıraktığını biliyordu. Eğer bu % 1'lik belirsizlik bilinmeyen ışımaetkin özdeği içeriyorsa ve eğer madenin ışımaetkinliği uranyum bileşenine yorulandan üç kez daha büyükse, bilinmeyen özdek uranyumdan yaklaşık üçyüz kez daha ışımaetkin olmak zorundaydı. Curie bu ışımaetkinliği biraz düşük hesaplamıştı: Gerçekte yüksek ışımaetkinli özdek eldeki örneğin % 1'i değil belki milyonda biriydi, ama ağırlık başına ışımaetkinliği de uranyumun üçyüz değil birkaç milyon katıydı.

Curie, uğraştığı işinin sınırsızlığından yılmayarak, yeni ögeyi ayrıştırmaya koyuldu ve filizleri gram gram ezip öğütmeye koyuldu. Kısa sürede, tek başına işin altından kalkamayacağını kavrayıp eşine güç birliği önerdi. Birlikte, Pierre ve Marie Curie kurşunlu madenleri işlemeye ve en ışımaetkin ürünleri dahiyane yöntemlerini kullanarak yığıştırmaya (=concentration) başladılar.

Bir kezinde yüksek ışımaetkin parçayı çok küçük bir tortu içinde yığıştırınca yeni ögeyi buldukları kanısına kapıldılar. Saf değildi ve gerçekte öge, elde ettikleri örnek içinde küçük bir safsızlıktı, ama ışımaetkinliği yeni bir ögenin varlığını göstermişti. Ona *polonyum* adını verdiler -Marie Sklodowska - Curie herhangi bir başka ad seçemezdi. Temmuz 1988'de Curieler, keşiflerini ilan eden ve ona ulaştıran yöntemlerini açıkladıkları bir ortaklaşa makaleyi Bilimler Akademisi'ne sundular. Tarihler önemlidir: Şubat 1896 dolaylarında Becquerel ışımaetkinliği keşfetti. 1897 sonunda Marie Curie "Becquerel'in ışınları"na ilgi duydu. Nisan 1898'de bilinen ögelerden hangilerinin ışımaetkin olduğunu saptamış ve yeni ve daha kuvvetli bir ışımaetkin ögenin varlığından kuşkulanmıştı. Aynı yılın Temmuz'unda Pierre ve Marie Curie ortaklaşa polonyumu keşfetmişti. Söz konusu örneğin kendiliğinden yok olduğunu da buldular, yarı-ömür diye bilinen karakteristik bir sürede, miktarları yarı yarıya azalıyordu.

Marie Curie güç birliği önerdiğinde, Pierre kendi mıknatıslık araştırmasıyla meşguldü. Sonra ışımaetkinliğe kaydı ve 1906'da ölümüne dek bu alanda kaldı. Madam Curie için de 1898'den ölümüne dek - 36 yıllık uğraş- aynı örneği izledi: daha çok filiz, daha yüksek saflaştırma düzeyleri, daha büyük yığıştırmalar. Madam Curie'nin özellikleri olan inanılmaz fiziksel dayanıklılık, üstün zeka ve inatçılık gerektiren tekdüze bir işti.

Curieler, kurşunlu madenden başlayarak ilk yüksek ışımaetkin ürünü elde ettiklerinde, mineralin kimyasal çözümlemesini genel yöntemle yürütmüşlerdi. Asit içinde çözülmeyen sülfidler grubu içinde polonyumu buldular. Sonradan baryum grubu içinde de (baryum, stronsyum ve kalsiyum) ışımaetkinlik buldular. İlkin ışımaetkinliği baryumdan ayıramamışlardı; kısmi kristalleşme ile başardıklarında ise, *radyum* adını verdikleri güçlü ve yeni bir ışımaetkin özdek daha buldular. Eylül 1898'de radyumun ayrıştırılmasına yolaçan araştırmada yardım eden bir Fransız kimyacı, G. Bémont'un işbirliği ile radyumu keş-

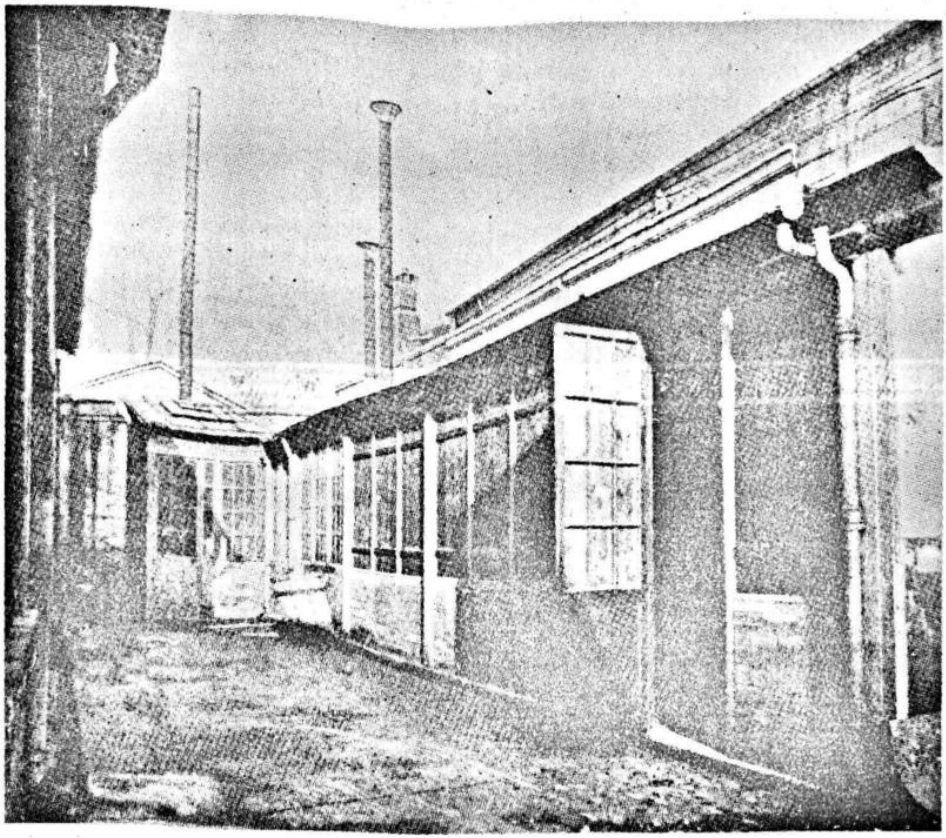
fettiklerini üçüncü makalelerinde açıkladılar. Bémont Curielere bir işlik bulmakta da yardımcı olmuştu; işlikleri sızıntılı bir kulübeden biraz daha hallice, kışın nemli, iyi havalarda ise çok sıcaktı (Resimler 2.6, 2.7). Havalandırma gibi, şimdi kimyasal işliklerin kaçınılmaz sayılan niteliklerinden hiçbirine sahip değildi ve iş görmeye sağlık açısından tümüyle uygunsuzdu. Üstelik o zamanlar ışımaetkinliğin yol açtığı yıkımdan kimse haberdar değildi, daha iyisi de ellerinden gelmezdi.

Viyanalı büyük yerbilimci Profesör Eduard Suess, o zamanlar hemen hemen biricik etkin uranyum merkezi olan Çekoslavakya'daki Joachimstal madeninden, Curieler için bir tonluk kurşunlu maden tortusu elde etme nezaketi göstermişti. Uranyum, madenlerden çıkarılmıştı ve Curielerin eline geçen kimsenin umursamadığı artıklardı, ama onlar radyum içerdiğini biliyorlardı. Yüz kilogramlık bir madeni, kaba yöntemler kullanarak elle ayrıştırmanın ne demek olduğunu bilenlere, bu iki insanın gerçekten yaptıkları inanılmaz görünecekti. Havalandırmasız bir işlikteki kokular, eriyiği karıştırırkenki fiziksel güç, maddelerin ilkel yöntemlerle ısıtılması göz önüne alındığında, ancak Polonyalı bir kadının yılmaz ruhu bu tür acaipliklerin üstesinden gelebilirdi. Onun kadar sağlam olmayan Pierre diğer işleri görürken, en yorucu fiziksel işleri hep o üstleniyordu. İki yıl sonra, özdeğin görünürdeki atom ağırlığındaki bir değişikliği açığa çıkarabilecek yeterlikte radyum elde etmişlerdi. Sıradan baryumun atom ağırlığı 137'dir. Ellerindeki en zengin baryum parçaları 174'lük bir atom ağırlığı gösterdi. Madam Curie, bugün atom ağırlığını 226 olarak bildiğimiz safradyum için uğraşıyordu. Onu elde etmek oniki yılını daha aldı, ama 1900'de bile doğru yoldaydı ve son işlemde değilse de en azından yöntemlerde önemli ilerleme sağlamıştı. 1900'de Marie ve Pierre Curie, "Yeni ışımaetkin özdekler ve yayımladıkları ışınlar" üzerine Paris'te düzenlenen bir uluslarası toplantıya (=conference) bir betik (=report) sundular. Aynı toplantıya Henri Becquerel de yayımlanan ışımalara ilişkin bir betik sunmuştu. Ona göre, en azından ışımanın bir bölümü ile x-ışınları ve katot ışınları arasında kesin bir benzerlik olduğu açıktı. Curiler, asıl olarak ışımaetkin özdek türleriyle ilgileniyordu. Işımaetkinliği ölçüm yöntemlerini ve bunun niye moleküler değil de atomik özellik sayılması gerektiğinin nedenlerini anlattılar. Uranyum ve toryum gibi hep bilinen ışımaetkin özdekleri çalışmışlardı: sonra da polonyum, radyum ve Curiler'in arkadaşı ve ortağı André Debierne tarafından 1899'da keşfedilmiş olan aktinyum gibi yenilerini. Orada özdeklerin kimyasal özelliklerinden, optik tayflarından, ışınımların etkilerinden ve eğindirilmiş (=induced) denilen ışımaetkinlikten söz ettiler (burada, ilk ve tek kez Rutherford'un adını andılar). Sonunda, çözülememiş büyük problemleri ortaya koydular: yayımlanan enerjinin kaynağı ve yayımlanan ışınımların doğası.

Yeni öge polonyumun, parçacıklar ve kuşkusuz enerji saldığını görmüştük. Hatta böylelikle üretilen ısıyı da ölçmek olasıydı, bu ise fizikçiler için yeni bir güçlük doğurmuştu. 1898'de enerji korunumu iyi biliniyordu ve bilimciler ondan vaz geçmeye tümüyle isteksizdiler.

Polonyumun enerjisi nereden geliyordu? Hiç alışılmadık varsayım türleri geliştirilmişti. Yanlış olsa da, ilk bakışta mantıksız gelmeyen bir görüş Marie Curie tarafından ışımaetkinlik üzerine yazdığı ilk makalesinde (1898) ileri sürülmüştü. Dünyanın her yerinde, biraz nötrinolar gibi, her yönde giden ışınların var olduğu düşünülmüştü. Bazı gizil ne-

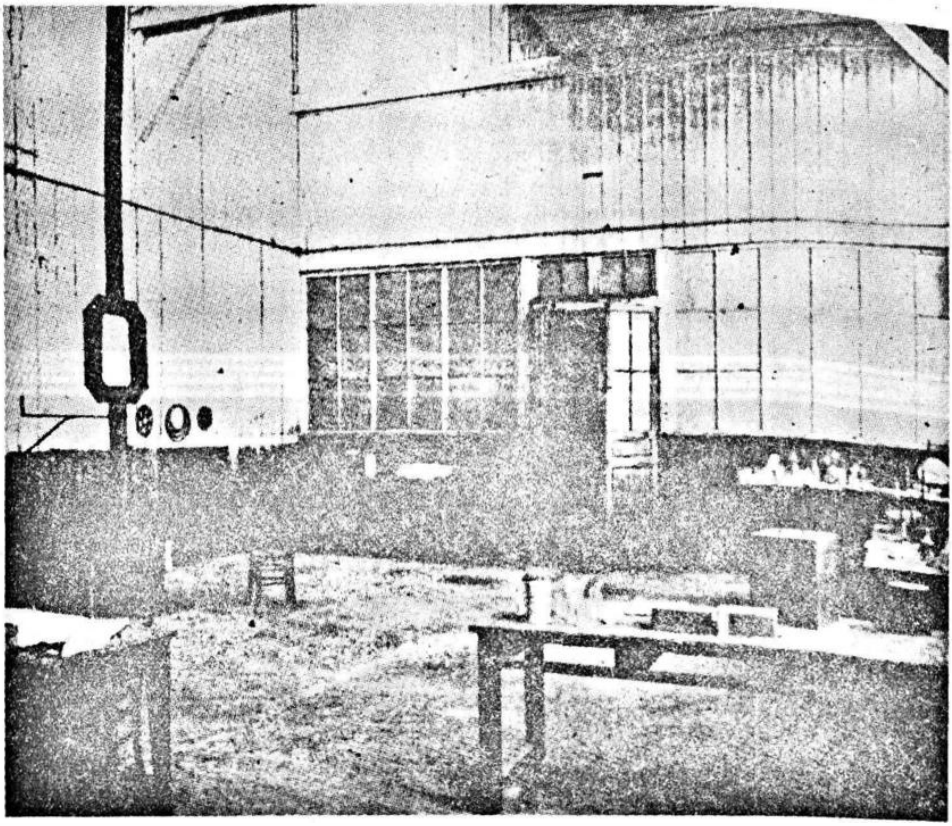
* to INDUCE — elektrik akımı meydana getirmek



Resim 2.6 Curielerin radyumun keşfi ve yalıtılmasına götüren araştırmayı yaptığı Ecole de Physique et de Chimie de la Viie de Paris'deki işlik. *(Ouvres de Pierre Curie'den,Paris, 1908)*

denlerden ötürü bu ışınlar ışınetkin özdeklerden başka hiçbir şey tarafından soğurulmuyor (=absorbed), yakalanan ışınlar da ısı üretiyordu. Ernest Rutherford bu görüşü geliştirip ışımaetkinliğin, özdeğin ince bölünmüş olup olmamasına dayanabileceğini ileri sürdü. Curielerin kendileri örnekleri soğutmanın ya da ısıtmanın ışımaetkinliği arttırıp artırmadığını ya da azaltıp azaltmadığını inceledi _kimya böyle bir deney öncemekteydi_ ama hiçbir şey olmadı. Örnekleri basınçla sıkıştırmayı da denediler ama yaptıkları hiçbir şey ışımaetkinliği değiştiremeyecekti. Bu büyük bir gizdi. Aslında, ışımaetkin özdeklerin yok oluş hızı 2. Dünya Savaşı sonrasına dek değiştirilememişti, o zamandan bir önceki onyıl içinde C. Wiegand ve benim çekirdeği anlamakta kullandığımız kimyasal etkiler ancak biriktirilmişti.

Bilindiği gibi 1900'deki Curie betiği ışımaetkinlik üzerine ufak bir yapıttı; 1904'de Marie nihayet doktora tezini yazdı, benzer türde ama güncelleştirilmiş bir yapıttı.



Curilerin işliğinin içi. (*Ouvres de Pierre Curie'den, Paris, 1908*)

1902'ye dek Marie çalışmasının sonucu olarak yaklaşık 10 kilo zayıflamıştı, ama atomik ağırlığını ölçmesine yetecek kadar radyumu da vardı. Atomik ağırlığı 225 olarak buldu, yaklaşık olarak doğru yanıttı. Tayf çizgilerini gözleyecek kadar da radyumu vardı. 1900'da sunulan betik, tayfta bazı yanlışlıklar içerse de iki koyu çizgiyi doğrulukla vermişti ve Curie'nin onları gözlediğine kuşku yoktu. Bununla birlikte, çiftin tuhaf ve zor tanılanır (=hard to diagnose) illetler çekmeğe başlamasına da şaşılmamalıdır. Olasılıkla ciddi yaralanmaya yetecek kadar ışıma almışlar ve yeterince ışımaetkin özdeği yutmuşlardı. Pierre bir kazada öldüyse de, Marie 67'sine dek yaşadı, ama uzun süredir hastaydı ve sonunda, uzun süreli ışımaya açık kalmanın sonuçlarından biri olan aplastic anemi'den (=bir tür kansızlık hastalığı) öldü. Üvey oğlu F. Juliot, Marie'nin deney defterlerini inceledi ve ışımaetkinlikle kuvvetlice kirlendiğini buldu. Dahası, Marie yemeğini kendi pişirirdi ve yemek kitapları kullanılışından elli yıl sonra bile hâlâ ışımaetkindi.

Bu arada, Curielerin meslek yaşamları acaba nasıl geçmişti? Unutulmaz keşifler yaptıkları ve sağlıklarını kaybettikleri yorulmak bilmez emek yıllarından sonra biraz dış yardım aldıklarını sanan çıkabilir. Lord Kelvin gibi en büyük bilimsel kişilikler, katkılarını takdir etmişti, ama onların yaşamalarından öncelikle sorumlu olan resmi Fransız bürokrasisi bunu da yapmamıştı. Bazı yönetici arkadaşları Pierre için Onur Alayı (Legion d'Honor) ayarladılar, ama o, bir madalyaya değil bir işliğe gereksinimi olduğunu söyleyerek geri çevirdi. Arkadaşları, işlik edinmeye yardımcı olabileceğini söyleyerek onuru kabul etmesi için ısrar ettiler. Yine de, Pierre kibir ve inatçılığını sürdürdü ve ne onuru ne de işliği aldı. 1898'da Sorbonne fizik ve kimyasına üyelik için başvurdu ama alınmadı. Bu tarihte maaşı azdı - ayda 500 frank. Bakmak zorunda olduğu iki kızı vardı, anababası kadar değerli bir bilimci olan Irène (Resim 2.8) ile piyanist ve ileride yazacağı annesinin çok başarılı yaşamöyküsüyle ünlenen Eve.

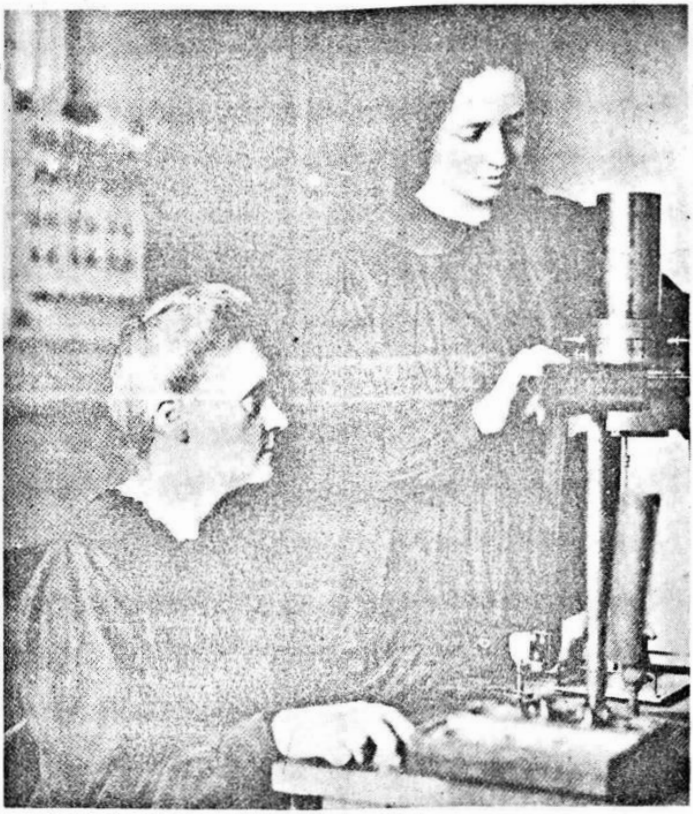
1900'de Curielere bir şans isabet etmişti. Cenova Üniversitesi Pierre'e çok çekici koşullarla üyelik önerdi. Pierre önce duraksadıysa da sonunda vaz geçti. Yine de, bu Fransız yöneticilerince farkedildi ve nihayet 1904'de Sorbonne'da bir görev verildi. Pierre çok sevinmişti, özellikle bir fizik profesörünün bir işliği olacağını safça düşündüğünden. Ne yazık ki yanılmıştı. Üyelik, bir işlik için hak doğurmuyordu, Pierre öldüğünde bile elverişli bir işliği yoktu. Curiler acınacak koşullarda çalışmayı sürdürdükçe, işlik sorunu bir sabit fikir haline geldi. 1902'de Pierre Fransız Akademisi'ne üyelik için adaylığını sundu. Bir adayın üyeleri ziyaret etmesi ve Curie'nin küçümsediği öteki biçimsellikleri (=formalities) yerine getirmesi gerekiyordu. Gönülsüzce çabaladı. Yine de, üyelik, gazların sıvılaştırılmasıyla tanınan E. H. Amagat'a gitti; Curie'yle karşılaştırılamazdı bile. Curie, yenilgisinden sonra Fransa'da artık saygı görmedi. Yine de, 1905'de, ölümünden bir yıl önce Akademi'ye seçildi.

1903'de Curieler, Nobel Ödülü'nü Henri Becquerel ile paylaştı. Bu parasal koşullarını hayli düzelttiyse de ne Nobel Ödülü ne de sonra aldıkları 25.000 franklık Osyris Ödülü arzu edilen işliği onlara getirmedi.

Nobel Ödülü'nün sunuluşunda, Pierre Curie konuşmasını şu sözlerle bitirdi:

On peut concevoir encore que dans des mains criminelles le radium puisse devenir tres dangereux et ici on peut se demander si l'humanité a avantage a connaitre les secrets de la nature,si elle est mure pour en profiter ou si cette connaissancene lui sera pas nuisible.L'éxample des découvertes deNobel est caractéristique, les explosifs puissants ont permis aux hommes de faire des travauxadmirables. Ils sont aussi un moyen terrible de destructionentre les mainsdes grands criminels qui entrainent les peuples verslaguerre.Je suis de ceuxqui pensent avec Nobel que l'humanite tirera plus de bien que demal des découvertes nouvelles. [Les Prix Nobel en 1903]

[Radyumun suçlu ellerde çok tehlikeli olacağı düşünülebilir ve burada insanlık için doğal gizlerin açığa çıkarılmasının yararlı olup olmadığı, ondan kazanç sağlamaya hazır olup olunmadığı, ya da bu bilginin zararlı olup olmayacağı sorulabilir.



Resim 2.8 Marie Curie, kızı Iréne ile. Anne kızını bilimsel araştırma içinde eğitmiş ve Birinci Dünya Savaşı sırasında kendi yarattığı gezici ışıma hastanesi arabası hizmetinde yardımcı olarak almıştı. (Radyum Enstitüsü Arşivleri.)

Nobel'in keşifleri örneği karakteristiktir; patlayıcıların büyük gücü insana hayran olunacak işler yapma olanağı vermiştir. Bunlar ulusları savaşa sürükleyen büyük suçluların ellerinde yıkımın korkunç araçlarıdır da. Ben de, Nobel gibi, şuna inananlardanım; insanlık yeni keşiflerden kötülükten daha çok iyilik sağlayacaktır.]

Curie'nin sözleri bugün bizim yakınmakta olduğumuz sorunlar hakkında o zamanki bir bilinçliliği gösterdiği için önemlidir. Önceki yılların iyimserliğinin sönmeye başladığını da tanıtlamaktadırlar.

Nobel Ödülü'nü aldıklarında Pierre 44, Marie de 36'sındaydı; ikisinin de sağlığı kötüydü ve tükenmişlerdi. Toplumdan uzak yaşıyor, mümkün olduğunca kırların tadını çıkarıyorları. Toplumsal çevreleri başlıca yaşlı bilimsel arkadaşlardan oluşuyordu: J. Perrin, P. Langevin, G. Urbain, A. Cotton, A. Debierne, G. Gouy ve diğerleri, tümü de fizikçi ve kimyacıydı. Bir aralar ruhçuluğa ilgi duydular, ama kısa sürede bıraktılar. Bazı sanatçıları da tanıyorlardı; Curielerin evinde her ikisi de bulunabilirdi heykeltraş Rodin ve Folies Bergere'nin ünlü dansçısı.

19 Nisan 1906'da Marie'nin başına korkunç bir facia geldi. Öğleden sonra, bir sokakta karşıdan karşıya geçerken, atı fırlayan bir araba Pierre'e çarptı ve öldürdü. (Ç.N. 21) Pierre'in ölümü Marie'yi derinden etkilemişti, hemen ertesinde kendini yalnız ve iş ve sorumluluklarla aşırı yüklenmiş ve dahası hoşlanmadığı büyük bir ün içinde buldu. Yalıtılmışlığa doğru sürükleniş ve görevlerin ağırlığında geri çekildi. 1900'dan 1906'ya dek, Marie Sevres'deki sıradan bir kız okulunda öğretmenlik yapmış ve sonra da Bilimler Fakültesi'nde Chef De Travaux yani, - kocasının asistanı olmuştu. Sonra da Sorbon'da kocasının yerine profesörlüğe atandı ve hiç yorumsuz, Marie Pierre'in ışımaetkinlik üzerine verdiği derslere kocasının bıraktığı yerden devam etti.

1911'de ikinci Nobel Ödülü'nü aldı. Yine yaklaşık bu sıralarda Marie P. Langevin ile bir olay yaşamıştı, Langevin evli ve çocuklu ve karısı kısa bir süreyle terk ettiği için rezalet yorumlarına konu olmuş özel bir meseleydi. Langevin'in oğlu bütün bu olup bitenleri babasının yaşamöyküsünde anlatır.

Langevin'den (1872-1946) birçok kez söz etmiştim. Fransız bilimine zamanında büyük etki yapmış parlak bir Fransız fizikçiydi. Pierre Curie'nin ve İngiltere'deyken J. J. Thomson'un öğrencisi olarak çalışmıştı. Asıl başarıları kuramsal alandaydı, özdeklerin mıknatıslık özelliklerini çözümleyişi klasik ve kalıcı değerdedir. Birinci Dünya Savaşı sırasında kendini denizaltıları saptama sorununa adadı ve modern saatlerde kullanılanların atası, kuvars elektrik salınıcılarını geliştirdi. Düşünsel açık seçikliği ve anlatım gücü onu çok etkin bir öğretmen yaptı. Curielerin ve Einstein'ın yakın arkadaşı, geniş uluslararası ilişkileri vardı ve Fransız biliminin yarı resmi temsilcisi haline gelmişti. Özgürlükçü düşüncelere adanmış ve sonraki yaşamında militan komunist olmuştu. (Ç.N. 22) Fransa'nın Alman işgali sırasında direniş hareketi içinde yeralmış ve sonunda ülkeden kaçmıştı. Savaştansonra akrabalarını Nazi kıyımında yitirmiş olarak geri döndü.

Bir keresinde, fiziğe yeni başlamış bir öğrenciyken, Roma'da seçkin bir matematikçinin evinde onur konuğu olan Langevin'le karşılaştım. Bana hemen üzerinde çalışmakta olduğum fizik ile zamanında onun çalıştığının uzdilli bir karşılaştırmasını yaptı. Zamanında ona pek soyut görünen ısıdinamiği başlıca konulardan biriydi. Fiziğin böylesi soyut düşünceden uzaklaşıp çok güzel sağlam modellerle ilgilenmesi şimdi bizim şansımıza değil miydi. Paketçik mekaniğinin gelişimi ile gelecek birkaç yıl içinde gündemde ne olacağından çok az kuşkuluydu. Böylesi ünlü bir adamın önemsiz bir öğrenciye karşı neredeyse bir meslekdaşınaymış gibi gösterdiği içten yaklaşım yüzünden dört köşe olmuştum. Kesinlikle pek çekiciydi.

Birinci Dünya Savaşı sırasında, Marie Curie dünyanın en tanınmış kişisiydi ve Fransız

---

(Ç.N. 21) Yazar, bu kazadan 3. sayfada da sözetmişti.

(Ç.N. 22) 12. sayfada sözü edilen bir başka Fransız fizikçi J. B. Perrin ile aradaki benzerliğe, örneğin ikisinin de J. J. Thomson'un öğrencisi olmasına dikkat çekilebilir. Bu gibi ayrıntılar, örneğin 21. notta olduğu gibi yazarın yazım mimarisini değerlendirme adına önemli olabilir.

Resim 2.9 Marie Curie, Roma'daki 1931 Volta Kongresi'nde R. A. Milikan ile sohbette. Milikan'ın arkasındaki R. Fowler; sağdaki W. Heisenberg.

hükümeti sonunda uzun süredir arzulanan işlik için p ara ayırmıştı; yine de savaş sonuna dek bitirilemedi ve ancak Marie Curie'in bilimsel yaşamının az etkin olduğu bir döneminde kullanılabildi. Savaş başlangıcında Marie Curie haklı olarak, en çok işe yarayacağı sahra hastanelerindeki ışıma araçları eksikliğinden ötürü kızgınlık duyuyordu ve kişisel çabasıyla x-ışını aracıyla donanmış bir ambulans hizmeti düzenleyerek durumu iyileştirmeyi denemişti. On sekiz yaşındaki kızını yanına yardımcı aldı. Marie Curie'yle tartışan bir Fransız genaralini düşünüyorum da...

Savaş sonrasında bir Amerikalı gazeteci Bn. W. B. Meloney, Marie Curie'yle bir söyleşi yaptı. Bu hayret verici bir başarıydı, çünkü Madam Curie gazetecilerden, imza meraklılarından ve her tür ilgi gösterisinden kaçınıyordu. Bayan Meloney açıkça Marie Curie'nin şefkatini kazanmayı başardı. Amerikan kadınlarının güçlü bir radyum örneği sağ-

layacağına söz verdi. İlginçtir, radyumun yalıtılmasında kullanılan teknik süreçleri geliştirdiyse de Marie Curie işliğinde kendine ait çok az radyuma sahipti. 1921'de Birleşik Devletler'e görkemli bir gezi yaptı, orada Başkan Harding, Amerikan kadınlarının para katkılarıyla satın alınan radyumu Curie'e sundu.

Çok erken bir tarihte radyumun biyolojik doku üzerinde bir etki yapabileceği farkedilmişti. İlk yananlardan biri, Curieler ile birlikte hazırladığı biraz radyumu yelek cebinde taşıyan Henri Becquerel'di. Curieler radyumun yolaçtığı zararlardan ötürü de acı çektiler. Bu yeni özdeğin, urları denetlemekte kullanılabileceği düşüncesi geliştirildi ve böylece radyumun tecimsel değere sahip olacağı da açığa çıktı. Yine de, Curieler özdeği yalıtmak için geliştirdikleri yöntemlerden hiç birinin patentini almaya kalkışmadılar. Bu onların inançlarıyla uyuşuyordu ve sıkça, yüce bir görünüşün kanıtı olarak gösterilmişti. Kanımca, bilimsel keşiflerin patentlenmesinin ahlakı üzerine değişik görüşler olabilirse de, birinin kendi araştırmasının yararlarını geri çevirişinde hiçbir özel erdem yoktur.

Marie Curie sonraları Uluslar Derneği (=League) aracılığıyle, uluslararası zihinsel işbirliğinde etkinlikle yeraldı. 1929'da Birleşik Devletler'e bir başka gezi düzenledi. Bu arada, yaşamını yeni işlikte, eski bir konu olan ışımaetkin özdek ailelerin ayrıştırılması işiyle sürdürdü. Kızı İrene'le birlikte genç meslekdaşlar yetiştirmeyle de ilgilendi.

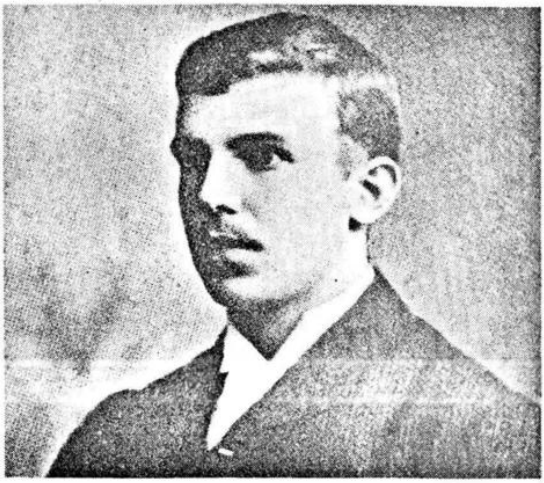
Bütün bunlarla birlikte, Marie'nin sağlığı git gide daha çok bozuluyordu. Görme zayıflığı bırakan iki katarakt ameliyatı geçirdi. Onu 1931'de tanıdığımda, çelimsiz ve solgun görünüyordu (Resim 2.9). Işıma yanıklarından zarar gören, sargı beziyle sarmalamış elleri sinirliymişcesine titriyordu. Sonunda işliğine kavuşmuştu, ama artık çok geçti. Fransız ulusal meclisinin verdiği bir emekli maaşı ve biri Paris'te biri de Riviera kıyılarında iki de evi vardı. Sonunda kader ona da iyi davrandı ve ömrünün son aylarında kızıyla üvey oğlunun büyük keşfini gördü: yapay ışımaetkinlik. Fransız Alpleri'ndeki bir sanatoryumda 1934'de öldü.

3

Rutherford Yeni Dünya'da: Ögelerin Dönüşümü

Ernest Rutherford (1871-1937) fizikte her ne kadar bir dev sayılıp, adı simgesel bir öneme sahipse de çalışmalarını tek başına yapmamıştır. Fiziğin gelişimi zaten çoğunlukla bir dönem içinde sonal erginliğe ulaşılana dek birçok bilimci tarafından yapılan birçok katkıya dayanır. Başarının çoğu da son araştırmacıya maledilir. Bu yüzden bu kitapta ipin ucunu kaçırmama adına bazı önemli şahsiyetleri atlamak zorundayım. Araştırmacı işçiler arasındaki etkileşmelerin tümünü izlemek ve bir fizikçinin bir ötekinden kaptığı esinlenmeyi göstermek kolay değildir. Örneğin, Becquerel ve Curieler birbirinin sonuçlarını okur ve fırsat buldukça birbiriyle konuşurlardı, ama izlemek zor, helebu çok önemli karşılıklı etkileşmeleri etkinlikle betimlemek çok daha zordur. Saygın bilimsel işlerdeki göndermeler (=citations) bilimciler arasındaki entellektüel alışveriş hakkında bir fikir verecektir.

Dahası, bazı bilimciler çevrelerinde bazı "okullar" toplamıştır. Öğretmen ile çıraklar arasındaki ilişkinlik durumdan duruma değişir, ama çoğunlukla kişilikler birbirini tamamlar ve çalışmayı daha üretken kılar. Bazı bilimciler de yalnız çalışır; bu iki uç arasında ara basamaklar da olabilir. Rutherford bir okulun en başarılı başlarından biriydi ve onun yönetimindeki işliklerde çalışan meslekdaşları birçok önemli keşifler yaptı. Kanada'da O. Hahn ve F. Soddy'den; Manchester'de H. Geiger, E. Marsden, N. Bohr, G. Hevesy ve H. G. Moseley'den; ve Cambridge'de E. T. S. Walton, M. Oliphant, M. Goldhaber, C. E.Wynn-Williams'dan ve diğerlerinden söz etmek yeterli olacaktır. Rutherford'un esinleyiciliğinin ve önderliğinin, çırakları arasındaki görgü tarafından nasıl beslenip artırıldığını görmek kolaydır.



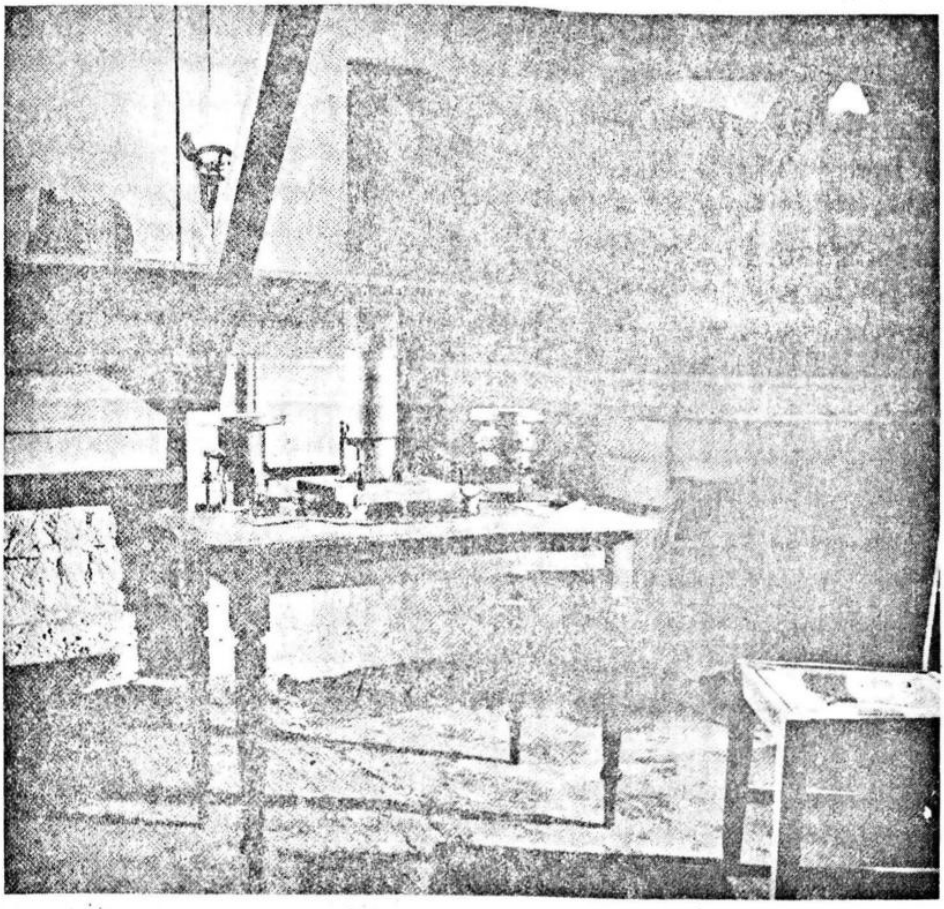
Resim 3.1 Ernest Rutherford (1871-1937) yirmi bir yaşındayken. [A. S. Eve'in Rutherford'undan (Londra: Cambridge University Yayını, 1939).]

Rutherford'un İlk Uğraşları

Rutherford (Resim 3.1) 13 Ağustos 1871'de Yeni Zelanda'nın Güney Adası'nda Nelson yakınlarında, oraya göç etmiş bir İskoç ailesinin torunu olarak doğmuştu. Annesi bir okul öğretmeniydi ve piyano çalardı. Yeni Zelanda'da 1870'de hüküm süren koşullarda piyano çalmak hem kültürün hem de dirençlenliğin işaretiydi. Rutherford'un babası birçok kez iş değiştirmiş, içten ve enerjik bir insandı. Çiftçiydi, sonra küçük bir fabrika kurmuş ve son olarak bol kazançlı bir keten atölyesi çalıştırmıştı. Aile suptropikal iklimde, daha önce el değmemiş bir arazide yaşıyordu. Rutherford'un altı erkek, beş kız kardeşi vardı, içlerinden üçü henüz çocukken ölmüştü.

Genç Rutherford ilkokula Yeni Zelanda'da gitti ve on yaşındayken Balfour Stewart'ın fizik kitabını okudu. Böylesi, fizikçiler için hiç de seyrek rastlanır olmayan bir başlangıçtır; çoğunlukla çocukken onları büyüleyen bir fizik kitabı bulurlar. 1882'de Rutherford'un ailesi Pelorus Sound'a göçtü ve burada Rutherford ortaokula girdi, sonra da Nelson Koleji'ne. (Yaklaşık yarım yüzyıl sonra lordluk için bir belgit (=ünvan) seçeceği zaman Nelson'lu Lord Rutherford'u yeğledi.) Kolej'den kendine bir yıl yetecek elli beş 'guinea'lık bir burs kazandı. Giriş sınavında 600 puan üzerinden 580 almıştı ve İngilizce, Fransızca, Latince, tarih, matematik, fizik ve kimyada birinciydi. 1889'da bir başka burs daha kazanıp, yedi profesörün ve 150 öğrencinin bulunduğu, Canterbury Koleji'ne gitti.

Rutherford ve Marie Curie'nin ikisinin de bilimsel uğraşlarına demirin mıknatıslanmasını çalışarak başlamış olmaları az bulunur bir raslantıdır. Rutherford mezuniyet tezini yüksek frekanslı yükboşalımlarının demiri mıknatıslaması üzerine yaptı. (Resim 3.2) 1889'da bir çocuğun Yeni Zelanda'da bir tez için böyle deneyler yapabilmesi dikkat çekicidir. Bu ilk çalışma Rutherford'un daha o zamandan ne olacağını göstermiştir.



Resim 3.2 Rutherford'un ilk işliği. Yeni Zelanda'da canterbury koleji'nin bodrumuna yerleştirilmkişti. Burada Rutherford yüksek frekanslı almaşık (= alternatif) akımın demir içinde yayılımı üzerine araştırma yürüttü. Mıknatıslanmış bir çelik telin salınımlı boşalımının saptayıcısı olarak davranabileceğini keşfetti, bu gerçek başkalarınca biliniyorsa da Rutherford bundan habersizdi. Böylece salıncıyla sonradan yıkılmış büyük bir kulübe içine yerleştirilen bir alıcı arasındaki kısa bir uzaklık içinde radyo dalgaları gönderip almayı başardı. Cambridge'de Rutherford'un sürdürdüğü bu araştırma, hertzcil dalga saptayıcısı birmıknatıslanmış telin geliştirilmesine yolaçtı. (Cantenbury Üniversitesi.)

İçinden yüksek frekanslı yükboşalımı geçmiş bir demir telin sadece "cilt derinliğinde" mıknatıslandığını tanıtlamak istemişti. Yükboşalımı kullanarak demiri mıknatısladı ve mıknatıslandığını gösterdi. Sonra teli nitrik asit içine batırıp sadeceyüzeyi eritti. Mıknatıslık gitmişti. Bu inceleme daha sonraları toplu eserlerinde basıldı.

1894'te, yirmi üç yaşındayken, 1851 Londra Sergisi'nce verilen bir burs için sınava girdi. Burslar Kraliçe Victoria'nın kocası Prens Consort tarafından sergiden, artan paranın Britanya İmparatorluğu uyrukları için burs verilmesi arzusuyla kurulmuştu. (Bu ödüller hâlâ vardır ve İngiliz Devletler Topluluğu (=Commonwealth) için büyük bir eğitimsel kaynak sağlar. Yıllar sonra, yürürlükten kaldırılmaları önerildiğinde, korunmaları için Rutherford tüm gücünü kullanmıştı.) Rutherford ikinci geldi; ama, kazanan, parayı incelikle geri çevirdi ve bursu, çalışmalarını böylece İngiltere'de sürdürmesine olanak tanınan Rutherford aldı. Bursu kazandığının haberi ulaştığında, Rutherford'un tarlada patates kazmakta olduğu anlatılır. Haberi içeren telgrafı okudu ve "Bu hayatımda kazdığım son patatestir." dedi. Rutherford, yolculuk masrafları için borçlanmak zorundaydı. Rutherford, yolu üzerindeki Adelaide'de, İmparatorluğun büyük fizikçilerinden biri olmuş W. H. Bragg'ı (1862-1942) görmek için durdu. Bragg, Rutherford'an birkaç yaş daha büyüktü ve o zamanlar genç bir profesördü. Sonraları, W. H. Bragg ve oğlu W. L. Bragg (1890-1971), x-ışınları ve kristalbilgisinde (=crystallography) anılsal buluşlar yapmışlardı. W. L. Bragg hem Manchester'de hem de Cambridge'de Rutherford'un ardılı olacaktı (Ç.N. 23).

Rutherford Eylül 1895'de İngiltere Cambridge'e vardı ve daha önce gördüğümüz üzere çok genç yaşta Cavendish Profesörlüğü'ne yükselmiş olan J.J. Thomson tarafından araştırmacı öğrenciliğe kabul edildi. Rutherford'un varışında Cambridge Üniversitesi ders programında önemli değişiklikler geçirmekteydi, deneysel eğitime daha çok yer verip işliklerini de yabancı öğrencilere açmaktaydı. Bu reform planı altında çalışacak ilk öğrenci Rutherford'du. Ünü, sıradışı biriyle uğraşacaklarını çabucak kavrayan arkadaşları arasında hızla yayıldı. Oraya varışından çok geçmeden, bir öğrenci arkadaşı şunları yazmıştı, "Burada yeryüzünün ta öteki ucundan (=antipode) (Ç.N. 24) gelmiş bir tavşan var ve derinlikleri kazıp duruyor."

Rutherford'un mektuplaşmalarının haylice geniş bir koleksiyonu vardır. Annesinin kalan ömrü boyunca ona düzenli olarak her iki haftada bir mektup yazmıştı _ve kadın doksan ikisine dek yaşadı. Ortaokul sıralarında da bir okul arkadaşı, Mary Newton, ile nişanlanmıştı; ona da yazdı. Annesine yazdığı mektupların çoğu yitikse de ileride bir yerlerden çıkabilir; Mary kendininkileri korumuştu. Bunlardan birinde Thomson'un 1895'de Rutherford'a nasıl göründüğü de betimlenir:

> *İşliğe gidip Thomson'u gördüm ve onunla güzel uzun bir konuşma yaptım. Söyleşiden çok hoşnuttu ve hiç de fosilleşmiş biri değildi. Görünüşüne gelince, orta boylu, esmer ve hâlâ epey genç görünen bir insan - çok kötü sakal traşı olur, saçını oldukça uzun keser. Yüzü epey uzun ve ince, güzel bir başı ve burnunun hemen üze-*

(Ç.N. 23) Sir lawrance Bragg, daha sonra genetik araştırmalarda önemli roller üstlenecekti. Bu konu için Bknz. İKİLİ SARMAL, DNA yapı çözümünün öyküsü". J?D?Watson, Tubitak Popüler Bilim kitapları 2.

(Ç.N. 24) Avusturalya kastediliyor.

rinde bir kaç dikey kırışığı var. Genel konular ve araştırma işini konuştuk ve yapacak olduklarımdan hoşnut kalmış gibi göründü. Öğle yemeği için dışarı, Scroop Terrace'a gitmeyi önerdi, orada eşini gördüm, uzun esmer bir kadın, epeyce soluk yüzlü ama çok konuşkan ve tatlı dilli; yemekten sonra bir saat kadar kaldı ve sonra kente geri döndü. ... Gördüğüm müthiş birşeyden söz etmeyi unuttum: evin tek oğlu, üç buçuk yaşında, gürbüz Saxon görünüşlü bir çocuk, şimdiye dek gördüğüm en güzel ve biçimli yumurcak. [Eve, Rutherford, s. 15]

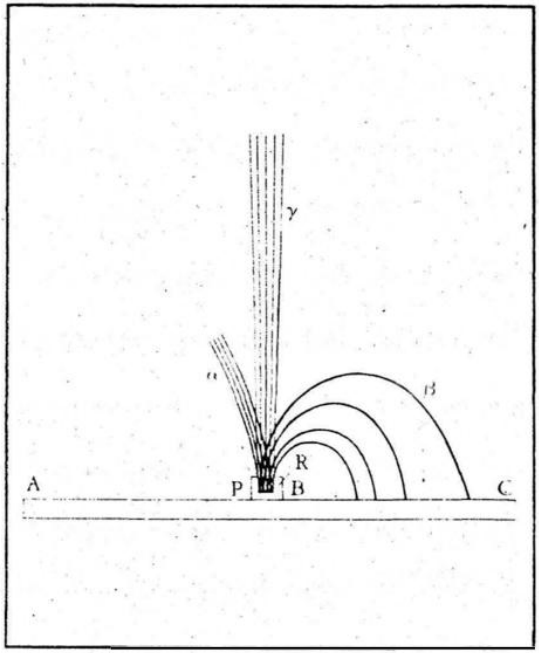
Çocuk, gelecekte elektron girişimin kaşifi olacak G. P. Thomson'du, 1975'de öldü.

Başta, Rutherford mıknatıslanma çalışmalarını sürdürdü. Bir mektupta herşeyin nasıl iyi gittiğini, bir seminerde çalışmalarını nasıl açıkladığını ve herkesin onu nasıl ciddiye aldığını anlatmıştı. Keşfi telsiz sinyallerini saptamakta kullanılabileceğinden, mıknatıslık üzerine çalışma hemen pratik bir uygulama alanı buldu. Marconi İtalya'da benzer bir iş yapıyordu, ama iki insan arasında temel ayrımlar vardı. Bilimciden çok mucit olan Marconi, bir saptayıcının pratik olabilirlikleriyle iligileniyordu. Rutherford, çalışmalarının olası uygulamalarını kavramıştıysa da, onlarla ilgilenmiyordu. Her ne olursa olsun, mıknatıslı tel saptayıcı gerçekten önemliydi ve hatta boşluk tüplerinin gelişip pabuçlarını dama atana dek patentler üzerinde hukuksal sorunlara neden olmuştu.

Işımaetkinlik Araştırmaları

Bu arada, Röntgen ürkütücü keşfini yapmıştı ve herkes x-ışınları üstünde çalışmaya koşuyordu. Rutherford, Thomson ile işbirliği içinde, x-ışınları tarafından üretilen iyonlaşmayı 1897'de ölçmeye başladı, ışımaetkinliğin keşfinden sonra, deneyimini hemen uranyumun ürettiği iyonlaşmayı ölçmeye uyguladı.

Cavendish İşliği'nde yürütülen uzun bir çalışmada 1897'de Rutherford uranyum tarafından yayımlanmakta olan iki tür ışımanın varlığını kavradı; onları alfa ve beta diye adlandırdı. Özdek içinde soğurulabilirlikleri ile ayırt edilebilirler. Aynı zamanlarda Curieler polonyum ve radyumu keşfediyorlardı. Onlar da, Becquerel gibi, ışımaetkin özdeklerden yayılan ışımaların özelliklerini çalışıyorlardı. Onların, Rutherford'un ve daha birçok başka araştırıcıların çabaları çok karmaşık bir yolda birbiriyle örtüşmektedir. Yanlışlıklar seyrek değildi, birkaç yıl içinde beta ışınlarının katot ışınları, yani elektronlar olduğu sonucuna varıldı, dahası, Fransa'da P. V. Villard, x-ışınlarına benzer biçimde daha içe işleyici (=penetrating) bir ışıma daha buldu ve adını gama koydu. Yine de, alfa ışınları bir giz olarak kaldı. Rutherford ve Curieler, onların hızla fırlatılan parçacık, elektrik yüklü atomlar olduğundan kuşkulandılar. Olgusal açıdan soğrulabilirlikleri (=absorbability) ve manyetik alandaki küçük sapmalarıyla ayırt edilebiliyorlardı. Belki okuyucuya, Curieler ve Becquerel'den beri bilinen ve ders kitaplarında sıkça bulunan ünlü şekil (Resim 3.3) tanıdık gelecektir.

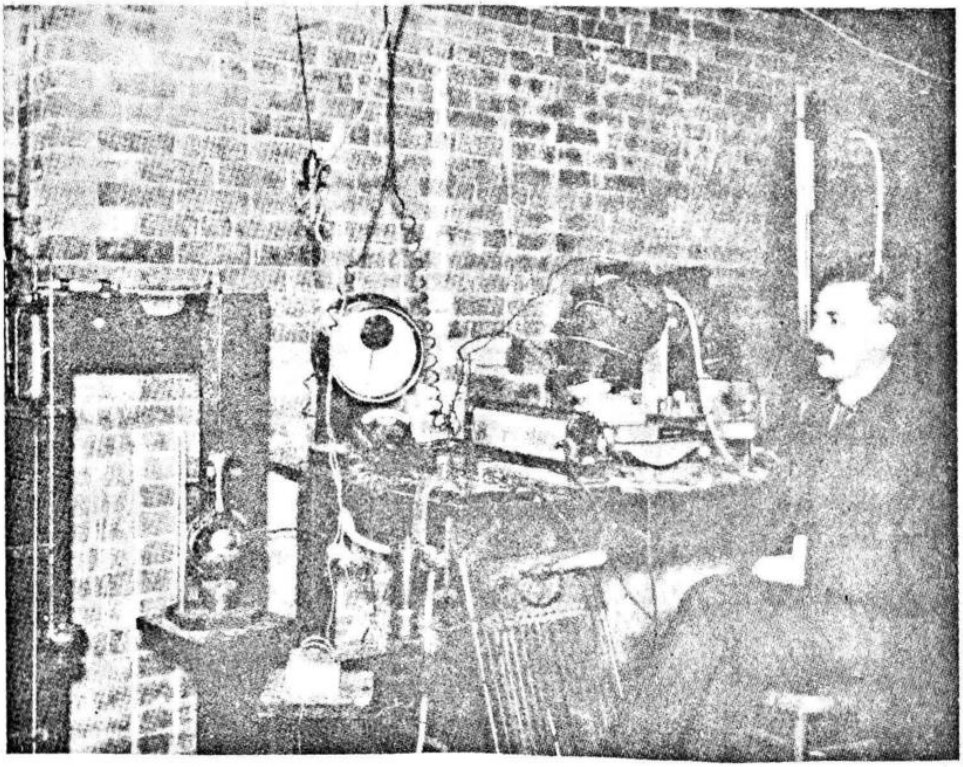


Resim 3.3 Üç ışın türü :α,β ve γ Hareket yönlerine dik bir manyetik alan içinde izledikleri yörüngeye göre birbirinden ayrılır. α şınları (helyum çekirdekleri) artı yüklüdür; β ışınları (elektronlar) çok daha hafif ve eksi yüklüdür. γ ışınları, x-ışınları gibi elektromanyetik ışıma paketçikleridir (foton). Yüksüz olduğundan manyetik alan tarafından saptınlmaz. Işınlara bu adları koyan Rutherford'dur. [Marie Curie'nin Tez'inden (Paris: Gauthier-Villars, 1940).]

Alfa ışınlarının sınırlı bir yayılma alanı olduğundan da kuşkulanılıyordu. 1898'de Montreal'deki McGill Üniversitesi'nde bir yer boşaldı ve Rutherford başvurmaya karar verdi. Bu önemli bir karardı. Fizik dünyasının merkezi olan Cambridge'den ayrılıp Kanada'daki bir sömürge üniversitesine gitmek karanlığa doğru atılan bir adımdı. Ama Rutherford'un maceracı bir ruhu vardı ve zaten dünyanın hiç de bilimsel merkezi sayılamayacak olan Yeni Zelanda'dan gelmişti. Üstelik, Rutherford her zaman ve haklı olarak büyük bir özgüvene sahipti. J. J. Thomson'dan aldığı tavsiye mektubunda şunlar yazıyordu, "Özgün araştırma için Bay Rutherford'dan daha heyecanlı ve yetenekli bir öğrencim asla olmamıştır, seçildiğinde Montreal'de seçkin bir fizik okulu kuracağına da eminim. Bay Rutherford'un hizmetiyle desteklenmiş herhangi bir kuruluşu şanslı sayarım" [Eve, s. 55]. Yine de doğruyu söylemek gerekirse, Rutherford olmayan genç insanlar için yazılmış benzer mektupları çok gördüm. Rutherford bu göreve atandığında önce Yeni Zelanda'ya Mary Newton'la evlenmeye gitti, sonra da onunla birlikte Kanada'ya. Ücreti, Pierre Curie'ninkinin iki katı, yılda 500 pound tutuyor ve konforlu bir yaşam sağlıyordu. Bu durum, aynı dönemin Fransız Cumhuriyeti'ne kıyasla İngiliz İmparatorlu'ğundaki iyi koşulları yansıtmaktadır.

Rutherford'un Montreal'deki yeni çevresi araştırma yapmak için çok uygundu (Resim 3.4). Orada Üniversitenin velinimeti, milyoner Sir William Macdonald tarafından desteklenip finanse edilen yeni yapılmış fizik ve kimya işlikleri bulmuştu. Bölüm başkanı,

John Cox, Rutherford'u bir kaç hafta gözledi ve sonunda "Derslerinizi alıp eğitim işini ben üstlensem iyi olacak diye düşünüyorum. Siz de yapmanız gerekeni yapmaya devam edersiniz." İşte bu seçkin bir zeka ve cömertliğin göstergesiydi.Rutherford, mektuplarından anlaşıldığı kadarıyla, karşılıklı katkıların takdirine dayanan çok içten ilişkiler kurduğu arkadaşlarının sevgisini kazanmıştı. Rutherford bazı ışımaetkin örnekleri alıp şu problemi incelemeye başladı. R. B. Owens ve Rutherford hava akımlarının ışımaetkin maddeler arafından üretilen iyonlaşmayı etkilediğini gözlemişlerdi. Rutherford, onların ışımaetkin gazlar saldığından kuşkulanmıştı. Curieler ışımaetkin özdek yakınına konmuş nesnelerin, "eğindirilmiş ışımaetkinlik" kazandıklarını ki bugün bu olgunun ışıma etkin kaynaktan kaçan gazların fırlattığı etkin parçacıkların yarattığını biliyoruz, çok önceleri gözlemişti. Önlem alınmadığında, etkin parçacıkların oluşumu geri dönüşü olmayan zararlara yolaçabilir. Yıllar sonra, uranyum parçalanmasının keşfi sırasında böyle bir olay, ışımaetkin gazları ve etkin parçacıkları çok iyi biliyor olmama karşın benim de başıma gelmişti.

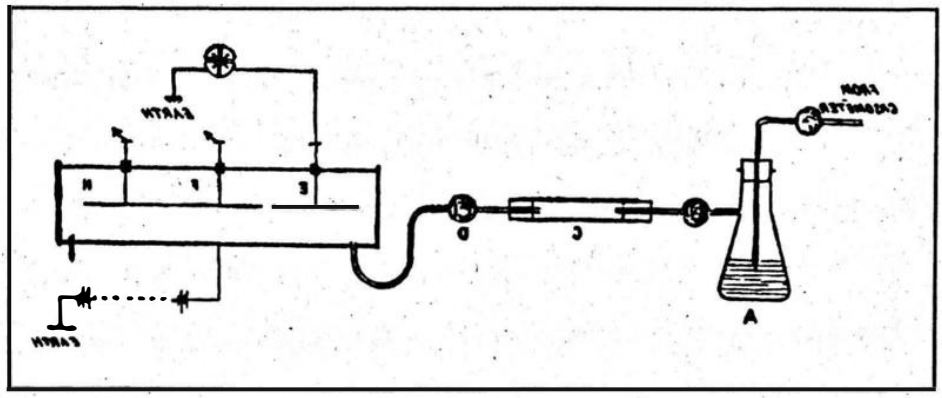


Resim 3.4 Rutherford 1905'de Montreal'deki McGill Üniversitesi'nde. Bu yıl α parçacıklarının özelliklerini araştırmaya başlamıştı. Saçılmaları atom içindeki ağır çekirdeğin keşfine yol açacaktı. (*Rutherford, Eve.*)

Böylece ışımaetkin özdeklerin üç ışıma türü yanısıra ışımaetkin nesneler fırlattığı da anlaşılmıştı. Bu keşif , kimyanın temellerini sarstı. O zamanki şaşkınlığı kavramak için özgün makaleler okunmalıdır. Rutherford diyordu ki, "Onların gaz olduğunu her türlü kuşkunun ötesinde kanıtlayacağım." Böylece, gerçek Rutherford tarzında, bir elektrometreye bağlanmış bir dizi elektrotla donanmış ucu açık bir tüp kullanarak yalın bir deneye girişti (Resim 3.5). Havayla karıştırdığı gazları tüpten geçirdi. Gaz, tüpün bir ucundan girip öbüründen çıkıyordu. Rutherford, akışı ve böylece gaz hızını ölçtü. Girişteki ve tüm tüp boyunca olan ışımaetkinliği ve böylece hıza bağımlılığı da ölçtü. Bu ölçümlerden de gazın yarı ömrünü belirliyebildi. Bu sonuç çok şaşırtıcı göründüğünden, ışımaetkinliği taşıyanın gaz olduğu konusunda kendini ikna etmek üzere başka deneyler de yaptı

Bu noktada Sir William Macdonald havayı sıvılaştırmak için gerekli laboratuvar düzeneklerini verdi. Işımaetkin gazların yoğuşup yoğuşmadığını öğrenmek için Rutherford ışımaetkin gaz içeren havayı, sıvı gazla soğutulan bakır tüpten geçirdi. Donduklarını ve tüp ısıtıldığında yeniden buharlaştıklarını buldu. Ama, buharlaşma sıcaklığını ölçmeye çalışırken bir yanlışlık yaptı: türlü "çıkıtların" (=emanations), o bunlara gaz diyordu, davranışında ayrılıklar bulduğunu düşündü. *Türlü* sözcüğünü kullandım çünkü bu gazlar uranyum ya da toryumdan çıkıyordu. Bugün bu çıkıtların eşil (=isotopic) olduğunu ve bu yüzden kaynama ile buharlaşma sıcaklıklarının aynı olduğunu biliyoruz. Ama Rutherford buharlaştırmada sistematik farklılıklar bulmuştu, demek ki Rutherford bile ara sıra da olsa yanlışlık yapabilirmiş. Her neyse, ışımaetkin gazların varlığının keşfi kendi içinde doğruydu ve çok önemliydi. Aynı zamanda uranyum ve toryum atomları bozunuyor ve parçalar arasında gazlar bulunduğu da gösterilmiş oluyordu.

Alfa ışınlarıyla ilintili bir sonraki problem: Onlar da gaz mıydı? Rutherford bu varsayımı sınadı, ama sonuç olumsuzdu. Sonra bir başka yönü denedi. Yüklü parçacıklarsa,



Resim 3.5 Toryumdan çıkan gazı ve yarı ömrünü saptamak için düzenek. C tüpünden geçen hava, tüpün öte ucuna ışımaetkin gazı taşır. E, F, ve H elektrodları gazın neden olduğu iyonlaşmayı ölçmeye yarar. Bu ölçümlerden ve gazın hızından, yarı ömür bulunabilir. [Rutherford ve Soddy'nin makalesinden *Transactions of the Chemical Society* 81 321 (1921)]

yüklerinin kütleye oranı, yani özgün yükleri neydi? Bir manyetik alanda saparlar mıydı, sapmazlar mıydı? Bu önemli konudaki görüşler farklıydı. Rutherford, başta sapmadıklarını yazmış olan Becquerel'le aynı kanıda değildi. Sonra ikisi de, saptıklarında anlaştı. Rutherford'un *Toplu Eserler*'inde görülebileceği üzere çeşitli varsayımları irdelemişler ve bazı yanlış deneysel sonuçlar üretmişlerdi. Yine de, sonunda, Rutherford alfa ışınları için özgül yükün iyonlaşmış helyumunki ile aynı olduğu sonucuna ulaştı. Yine ışımaetkin nesnelerin ısıtıldığında, ışımaetkin mineraller gibi helyum fırlattığını da bulmuştu. Tüm bu çalışmalar zaman aldı, ama 1903 ile 1904 arasında Rutherford, alfa parçacıklarının helyum iyonları olduğuna inandı. Şimdi sıra bunu kanıtlamaya gelmişti.

Müritler ve Dönüşümün Bulunuşu

Işımaetkinliğin fiziksel araştırmaları bu sürprizli sonuçlar doğururken, kimyasal araştırmalar da şaşırtıcı olgular ortaya çıkarıyordu. 1900'de Crookes, demir hidroksitin uranil tuzu eriyiğinde çökelti verdiğini, ışımaetkinliğin çökeltiye geçtiğini ve uranyumun etkinsizleştiğini buldu. Ama, bir iki gün içinde çökelti etkinliğini yitiriyor, uranyum ise yeniden kazanıyordu. Benzer olgular başka ışımaetkin nesnelerde de farklı zaman ölçütleri - bazen saatler, bazen dakikalar içinde ortaya çıkıyordu. Sanki işlikte ruhlar varmış da gün boyunca dikkatle ayrıştırılmış maddeleri geceleyin yeniden birbirine karıştırmaktan hoşlanıyorlarmış gibiydi. Tüm bunlar, kendilerinden kısaca sözedeceğimiz, Rutherford ve Soddy, ışımaetkin nesnelerin birbirine dönüştüğü düşüncesini yakalayana dek sihir işiymiş gibi görünmüştü.

Gelin bir dönüşüm örneğini ele alalım. Uranyum, bir başka ışımaetkin nesneye - UX - bozunmasıyla sürekli ürer, UX de bozunur. El değmemiş bir madende bu dönüşümler aynı hızda gerçekleşir, yani, saniye başına aynı sayıda U ve UX atomları bozunur. Işımaların doğası nedeniyle ışımaetkinliği ölçülebilir biricik değer olan etkin nesne UX'i kimyasal yolla uranyumdan ayrıştırdığımızda ise yarı ömür karakteristiği uyarınca UX'in azaldığını görürüz, çünkü UX uranyum tarafından yeniden üretilmemektedir. Bu sırada UX'in ayrıştırılmasıyla ışımaetkinliğini yitirmiş olan uranyum, yeniden etkinlik kazanır. Böylece iki tane etkinlik eğrisi ortaya çıkar - biri ayrıştırılmış nesne için biri de uranyum için. Biri inerken biri çıkar (Resim 3.6). Etkinliklerin toplamı sabittir çünkü toplam, denge halindeki ya da eldeğmemiş bir madendeki uranyuma karşılık gelir.

Rutherford ve Soddy tüm bu karmaşık olaylar örgüsünü temel bir kurala indirgeyerek aydınlattı, her ışımaetkin atomun birim zamanda belirli bir (sabit) bozunum olasılığı vardı. Bu olasılık, söz konusu nesnenin karakteristiğiydi ve Rutherford'un daha 1900'de açıklıkla tanıtlamış olduğu üzere başka hiçbir şeye bağlı değildi. Bu parlak ve devrimsel bir fikirdi, ama simyayı çok fazla çağrıştırdığından Rutherford'un bile sözünü etmeye çekindiği atomların dönüşümü anlamına da geliyordu. Gerçekten, ne bulduğunu ve olguyu açıkladığında Montreal'deki arkadaşları, kendini gülünç duruma düşürmek istemiyorsa, konuyu açıklarken çok temkinli davranmasını salık vermişlerdi. Ama her ne olursa olsun gerçekler oradaydı ve örtbasedilemezlerdi.

(a) resmindeki yazılar:

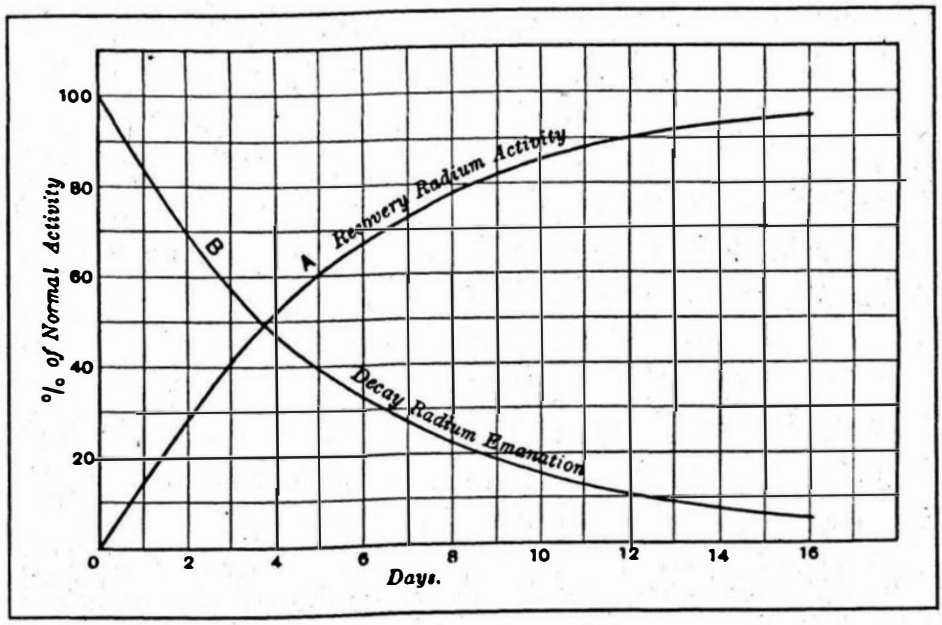
dik eksen ; Normal Etkinlik Yüzdesi

yatay eksen; Günler

A eğrisi ; Radyum Etkinlik Kazanımı

B eğrisi ; Radyum Çıkıt Yitimi }}

(a)



(b)

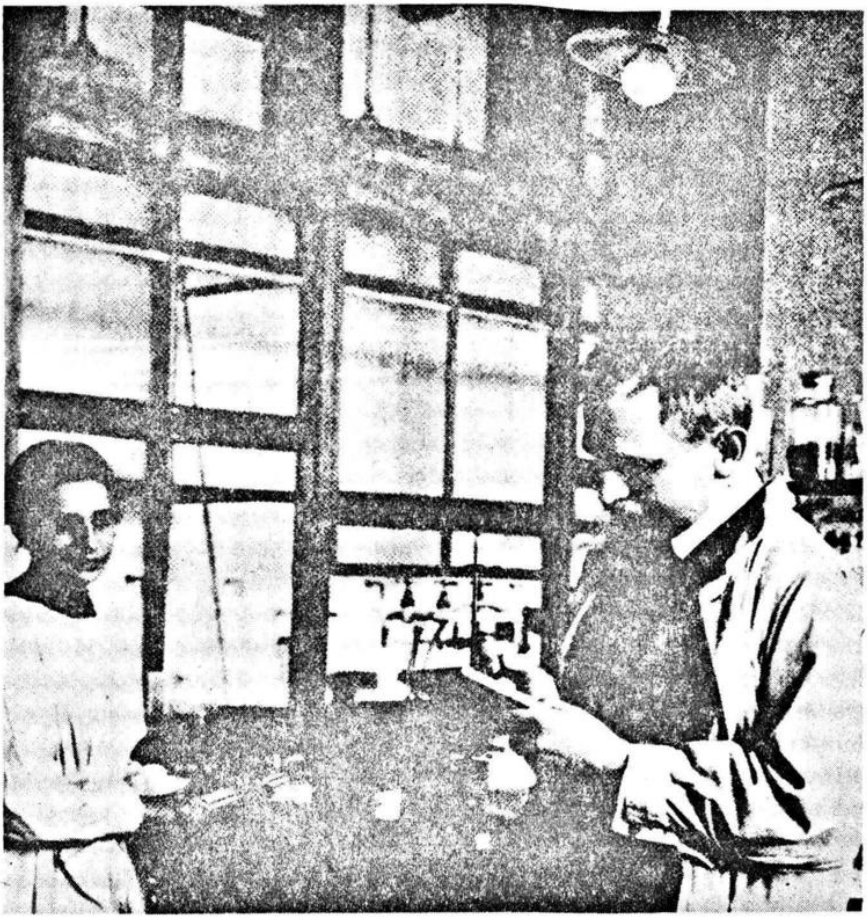
Resim 3.6 (a) Uranyum X (^{238}Th)'in kazanım ve yitim eğrileri. Eğriler uranyumdan elde edilen UX'in etkinliğini azalırken, UX eldesi sırasında etkinliğini yitirmiş olan uranyumun bunu yeniden kazandığını ve iki etkinliğin toplamının sabit kaldığını göstermektedir. Sonra, bu eğriler Rutherford'un lordluk armasında kullanılacaktı (b) (b Eve'in *Rutherford*'undan.)

Şimdi Soddy'e geliyoruz. Rutherford'un bir kimyacıya ivedilikle gereksinim duymaya başladığı zaman, Frederick Soddy (1877-1956) adlı biri ortaya çıktı. İngiltere'de eğitim görmüş ve doktorasını kimya dalında tamamlamıştı. İngiliz İmparatorluk sınırları içinde iş ararken, Toronto'ya başvurmuş ve mektup ve telgrafla heyecan içinde yanıt beklediğini bildirmişti. Hiçbir yanıt gelmeyince de bir eylem adamı olan Soddy gemiye atladığı gibi ne olduğunu anlamak üzere Kanada'ya gitmişti. New York'a ulaştığında ise, gıpta ettiği işe başkasının alındığını duymuştu. Yine de, nasıl olsa bileti var diye düşündüğünden Montreal'e gitmeye karar vermişti. Tavsiye mektuplarını gösterip McGill Üniversitesi'nden iş istedi. Kimya bölümünde işe alındı. Yardım gereksinimi olan Rutherford, Soddy ile konuştu, yaptığı işi gösterdi ve birlikte çalışmayı önerdi. Soddy hemen Rutherford'a katıldı. Kısa sürede yakın iş ortaklığı kurdular ve 1900'den 1903'e dek birlikte çalışıp ışımaetkin dönüşümlerin kuramını oluşturdular. Sonraları Soddy, eşillik kavramını ortaya koydu, buna göre, en basit söylemiyle kimyasal özellikleri aynı ama ışımaetkinlik özellikleri farklı nesneler olabilirdi. Soddy, bu nesnelere "eşil" adını, kimyasal ögelerin periyodik sisteminde aynı yerde bulundukları için koymuştu. Oxford Kimya'da profesör oldu ama yaratıcı dehası ileriki yıllarda söndü.

Soddy'den sonra, aralarında Otto Hahn (Resim 3.7) gibi "yıldızlar" bulunan öteki öğrenciler de Montreal'a geldi. Hahn, Frankfurt'da işadamlarından oluşan bir ailenin çocuğu olarak doğmuştu. Küçüklüğünde hiçbir bilimsel yetenek sergilememişti. 1901'de Marburg'da organik kimya dalından mezun oldu ve Profesör Theodor Zincke'nin asistanlığına girdi. Hahn, o zamanlar dorukta olan Alman kimya şirketlerinden birinde endüstriyel kariyer yapmayı tasarlıyordu. Zincke, iyi İngilizce öğrenmesini arzulayarak onu, neon, kripton ve xenonu keşfeden asal gazlar uzmanı William Ramsay'la çalışmaya gönderdi.

Ramsay, ışımakimyasında araştırma yapmaya çalışıyor ama fazla başarı sağlayamadığından Rutherford tarafından pek saygınlıkla karşılanmıyordu. Her ne ise, Ramsay, Hahn için harika bir konu önerdi: radyum içeren baryum kloridli özel bir bileşikten radyumu çözündürmek. Ne Ramsay, ne de Hahn bu özel bileşiğin Ra'nın bir başka eşili Ra^{228} içerdiğinden kuşkulanmamıştı; (Curielerin keşfettiği) olağan radyum, Ra^{226} dır. Hahn bundan önce de toryumun, ışıltoryum adını verdiği bir ışımaetkin eşilini (Th^{228}) keşfetmişti. Yale Üniversitesi'nde önder bir ışımakimyacı ve Rutherford'un yakın arkadaşı olan R. B. Boltwood, Hahn'ın araştırmasından tatmin olmamış, Rutherford'a yolladığı mektupta ışıltoryumu "bir toryum ve aptallık bileşiği" sözleriyle yorumlamıştı. Bu yüzden Hahn, Montreal'e geldiğinde kuşkulu bir ünle karşılanmıştı. Rutherford'un kuşkuculuğuna ek olarak, Rutherford ve Soddy, Ra'nın ThX adını verdikleri bir başka eşilini (Ra^{224})keşfetmişlerdi.

Yine de Hahn'ın haklı olduğu konusunda Rutherford ve Boltwood'u ikna etmesi çok zaman almadı. O günlerde eşilliğin bilinmediğini ve bu yüzden her yeni ışımaetkin bir nesne bulunduğunda bunun yeni bir öge sanıldığını, daha önceden bilinen ögeden ayrıştırılamaması nedeniyle de kafa karışıklığı yarattığını anımsamalıyız. Hahn'ın ışıltoryumu (modern deyimiyle) eşildir ve dolayısıyla toryumdan kimyasal yollarla ayrıştırılamaz. Yine de, Th, radyumun bir eşiline MsTh'a (Ra^{228}), bu da RaTh'a bozunduğundan; önce MsTh'i, Th'den ayıştırmak, RaTh'nın yine MsTh'a dönüşümünden



Resim 3.7 Otto Hahn (1879 -1968). Bu Rutherford'un öğrencisi seçkin ışımakimyacı, doğal yeni ışımaetkin nesnelerin keşfinden uranyum bölünmesine dek tüm ışımakimyasına imzasını atmıştı. Yanındaki Lise Meitner'dır (1878-1968). (Ullstein Bilderdienst.)

sonra da ilkini epey saf halde elde etmek mümkündür. Doğrudan eldesi mümkün olmayan RaTh'ı böylece Th'dan ayrıştırmış oluruz. Eşiliğin açık örneklerini keşfetmiş olan Rutherford ve Hahn'ı, eşilliği kavrayamadıklarından ötürü hayretle karşılayabiliriz; ama bir çok örneğini bildiğimiz üzere, akıl hazırlıklı değilse, göz görmez.

Hahn, Rutherford'un yanında bir yıl kadar kaldı. 1906'da Almanya'ya, Emil Fisher Organik Kimya Enstitüsü'ne geri döndü, ama ışılkimya üzerinde çalışmalarını sürdürdü. 1907'de Max Planck'ın yardımcısı olan genç bir Viyana'lı fizikçi, Lise Meitner'la (Resim

3.7) güçbirliği yaparak, birlikte önemli bir çekirdek araştırmaları merkezi kurdular. Bir kaç yıl sonra Hahn, yine Meitner'la birlikte, Berlin Dahlem Kaiser Wilhelm Enstitüsü'nde kendi işliğine kavuştu. 1938'de Meitner Naziler'den kaçmak zorunda kalıp Hahn ile Strassmann'ın uranyum bölünmesini keşfinden bir kaç ay önce İsveç'e göçmen olarak yerleşti. O günlerde Hahn 59 yaşındaydı ve böylesine ileri yaşlarda bile keşif yapılabileceğinin uç örneklerini sergiliyordu.

Bu dönemin hayranlık uyandıran keşifleri arasında asılsız olanlar hiç de az değildi doğrusu; onları bulduğuna inanan insanın tirajik sonuyla "n" ışınları; dikkat çekmek isteyen bir kimyacının ilan ettiği civanın altına dönüşmesi; ve diğerleri. Öte yandan, yaşlı ama bilimsel cesarete her zaman sahip olmuş büyük D. I. Mendelev de, helyumun atomik dönüşümle ortaya çıkabileceğine 1904'e dek inanmamıştı.

Rutherford, pek çok talep geldiğinden ve kendisi gezmeyi sevdiğinden, araştırmalarından fırsat buldukça, Birleşik Devletler'de ve İngiliz Devletler Topluluğu'nda birçok üniversiteye konuşmacı olarak gitti. Yale Üniversitesi yüksek bir maaşla üyelik teklif etti, ama Rutherford "Üniversite, öğrenciler için kurulmuş gibi davranıyorlar." gerekçesiyle geri çevirdi. Yine de Yale'deki Boltwood ile yakın arkadaşlığını sürdürdü. Uzun ve ilginç ilişkileri, basıldı da, Curielerin araştırmalarını dışarıda bırakmış olsa bile, dönemin ışıl-kimyasının canlı bir resimi gibidir.

Işımaetkin çürüme (=disintigration) sırasında açığa çıkan enerjinin kaynağı, bu alandaki en büyük giz olarak kalmıştı. Curieler, A. Laborde ve birçok başkaları gibi Rutherford da bu enerjiyi ölçtü ve son derece şaşırtıcı büyüklükte bir değer buldu. Sonra da ışımaetkin maddelerin dünyanın ısıl dengesini büyük ölçüde etkilediğini düşündü, bu da, Lord Kelvin ile yerbilimciler arasındaki eski bir tartışmayı yeniden alevlendirme fırsatını verdi. Lord Kelvin dünyanın soğuma hızını ve şimdiki kabuğun oluşumu için gerekli süreyi hesaplamıştı. Sonuç yerbilimsel olgulara kıyasla çok kısa ve dolayısıyla tartışmalıydı. Rutherford, dünyadaki ışımaetkin maddelerin sağladığı ısıyı da göz önüne alınca sorun çözüldü. Rutherford buluşuyla övünüyordu; buluşundan şöyle söz ediyordu:

> *Görüşlerimin çeliştiği Lord Kelvin'in dinleyiciler arasında belli belirsiz göründüğü yarı karanlık odaya girdiğimde dünyanın yaşı hakkındaki konuşmamın sonunda sorunla karşılaşacağımı anladım. Başta, Kelvin çarçabuk uyuklamıştı sanki, ama önemli konuya gelince yaşlı kuşun oturduğunu, gözlerini dikip keskin keskin (Ç.N.26) baktığını gördüm. Sonra birden gelen bir esinlenme ile yeni bir kaynak bulunmadığı sürece Lord Kelvin'in dünyanın yaşını sınırladığını söyledim. Bu kahince sözler, bu akşamki konumuza ilişkindir, radyuma! Bakın! İhtiyar delikanlı bana bir ışın fırlattı. (Ç.N. 27) [Eve, s. 107]*

Rutherford 1903'de Londra Kıraliyet Topluluğu'na seçildi ve 19 Mayıs 1904'de "Işı-

---

(Ç.N. 26) Bilgeliğin simgesi Baykuş ile benzerlik kuruluyor.

(Ç.N.27) Bu sözcüklerin İngilizce karşılığıyla, 'gülümseme', 'yalpalama', 'alabora olmuşcasına yan yatma' ve 'sıfırı tüketme' deyimleri de çağrıştırılmaktadır.

maetkin Cisimlerde Değişim Silsilesi" başlıklı Baker Dersi'ni verdi. Baker Dersi, on sekizinci yüzyılda yaşamış bir amatör mikroskopçunun vasiyeti ve bıraktığı miras üzerine kurulmuştu. (Ç.N. 28) Konuşmacının kendi çalışmasını özetlemesi gerekir ve Baker dersi vermek İngiliz Bilimi'nin ihsan edebileceği en yüksek şeref sayılırdı. Rutherford, ikinci kez 1920'de Baker Konuşmacısı olacaktı.

1904'deki Baker Dersi'nde, Rutherford yaptığı keşifleri şöylece özetlemişti:

1. Terimler.
2. Değişik tip ışıma ve çıkıt önünde değişik sürelerde tutulan radyum ve toryumun uyarılmış etkinliğinin yitim hızı.
3. Değişim silsilesinin matematiksel kuramı.
4. Kuramın (a) toryum, (b) aktinyum, (c) radyumdaki değişikliği açıklamaya uygulanması.
5. Radyumun yarattığı yavaş değişim hızı konusu: konunun Marcwald'ın ışıl-teliryumu ile kıyaslanması.
6. Olağan maddenin görünürdeki ışımaetkinliği, atmosferdeki yavaş değişim hızlı bir maddenin kısmi etkisine göre.
7. Uranyum, toryum, aktinyum ve radyumun değişim silsilelerinin kıyaslanması.
8. Işılögelerde "ışılsız" değişikliklerinin öneminin tartışılması.
9. Etkin ürünlerden ışımalar. Işılögelerde β ve γ ışınları görülmesinin önemi.
10. Kimyasal ve ışımaetkin değişim arasındaki ayrım.
11. α ışınlarınca taşınan yükü ölçmek için yapılan deneylerin tartışılması.
12. Işılögelerde (=radyoelements) ortaya çıkan değişimlerin büyüklüğü.
13. Işılögelerin ortaya çıkışı.

Bu, o zamana dek Rutherford'un çalışmalarının bir özetidir. Yüksek sesle "Hristiyan askerler, ileri!" diye söylenerek işlik çevresini adımlarken, haklı gerekçeleri vardı.

Ama, Rutherford'un Kanada misafirliği sona ermek üzereydi. İngiltere'ye dönüşü, etkinliğin yeni bir evresiyle çakışacaktı. Şimdi, olayların tarihsel akış sırasını bozmamak amacıyla, kısa bir süre için Rutherford'dan ayrılacağız.

(Ç.N. 28) Bilimsel çabanın altyapıdaki yaygınlığına dikkat edilmelidir. İki yüzyıllık zaman farkına karşın, ülkemizde ne bilimsel konuların anlatılması için vasiyetler ne miraslar bırakılmakta ne de 'lecture' sözcüğünün dilimizde karşılığı bulunmaktadır. Kısa sürede bu aşamaya ulaşmayı dileyelim

3

Planck, Arzulanmamış Devrimsel: Paketçik Düşüncesi

Önceki bölümlerde öncelikle x-ışınları ve ışımaetkinlik gibi büyük keşiflerle ilgilenmiştim. Kahramanlarımız çoğunlukla bu yeni sözcüklerin gizini kavramış fizikçilerdi. Şimdi, meslek dışından kişilere daha az anlaşılır gelse de fiziğin eş önemdeki öbür yüzünü çevireceğiz. Sözünü ettiğim, kendi alanlarında x-ışınlarının ve ışımaetkinliğin keşfi kadar temelden yeni ve devrimsel olan kuramsal düşüncelerin keşfidir.

Burada fiziğin gelişimini, yeni gerçeklerle yeni kuramlar arasında zig-zag çizerek yönlendiren deney ve kuram arasındaki ince oyunu göreceğiz. Fiziğin son amacı doğayı betimlemek ve olguları öngörmektir. Bunu önsel (=a priori) kuramlardan başlayarak gerçekleştirmek olanak dışıdır; birkaç adımdam sonra duracak, her yanlışlık önümüze dikilecek ve bizi doğru yoldan çıkaracaktır. Öte yandan, sadece deneyleri kullansak, kısa sürede birbirinden bağıntısız gerçeklerin sersemletici alanında kaybolur onları anlamlandırma umudunu da yitirirdik. Fiziğin eriştiği şaşırtıcı sonuçlarını sağlayan, bir dil olarak matematiğin kullanımıyla yan yana getirilen deneyle kuramın birleşimidir. Bu birleşimin gücünü açıkça anlamış olmak ve ona ulaşmanın yollarını göstermek ise, Galileo'nun anıtsal başarısı olmuştur.

Çoğu zaman fizik önceden belirlenemez bir çizgi izliyor ve büyük bilimciler de sadece gelişimi ivmelendiriyormuş gibi görünür. Eğer bir bilimci orada olmasa, bir başkası hemen onun yerini alacak ve aynı şeyi bulacaktır. Bunun önemli bir istisnası, bu bölümün konusu olan etkinin quantumudur (=paketçik).

Fiziğin Kuramsal Dayanakları

On dokuzuncu yüzyılın sonunda fizik imrenilecek yükseklikiere erişmişti; yapısı uyumlu ve bir ölçüde tamamlanmıştı. Devinbilim(=mekanik) Newton tarafından olgunlaştırılmış, Lagrange da onu sistemleştirip evrensel bir model olarak ileri sürmüştü. Fiziğin her bölümünün devinbilimeindirgenebileceği umudu vardı. Ne var ki, bu ayrıcalık giderek sönmeye de yüztutmuştu, çünkü temelde Maxwell elektomanyetizmi, Maxwell'in bir zamanlar ummuş olduğunun tersine devinbilime indirgenebilir görünmüyordu artık. Yine de, evrenin yapısı iki sütuna yaslanıyormuş gibi görünüyordu: devinbilim ve elektromanyetizm. Boltzmann, Maxwell'in kuramına ilişkin yapıtını yazarken, bu düşünceye Goethe'nin ünlü yapıtından alıntıladığı Faust'un şu sözleriyle dokundurmada bulunmuştu, "War es ein Gott der diese Zeichen schrieb?" [Bu işaretleri yazan bir Tanrı mıydı?] Tekvin'deki (=Genesis, Yaradılış) kutsal öykü modern dilde yeniden yazıldığında; "Işık varolsun" şu biçime dönüşüyordu

$$\nabla \cdot E = 4\pi\rho \qquad \nabla \cdot B = 0$$

$$\nabla \times E = \frac{1}{c}\frac{\partial B}{\partial t} \qquad \nabla \times B = \frac{1}{c}\frac{\partial E}{\partial t} + \frac{4\pi j}{c}$$

yani ışığın elektromanyetik alanını yöneten Maxwell eşitliklerine. Gök cisimlerinin devinimi için de,

$$\mathbf{F} = m\,\mathbf{a} = k\,\frac{m\,m'}{r^2}$$

Newton'un dikte ettirdiği gibi...

Böylesine aşırı bir bakış açısı, İncil'in yazı üstünden yorumlanışına inanan köktencilerinki kadar böndür. Dahası, Lord Kelvin'in belirlediği gibi, tüm utkulara karşın bazı küçük "bulutlar" da vardı. Her ikisi de sayısız deneyle doğrulanmış ve Hertz, Maxwell eşitliklerinin ışık olgusunu kapsadığını göstermiş olmasına karşın, Newton mekaniği ile Maxwell elektromanyetiğini uzlaştırmak güçtü.

Fiziğin üçüncü, belki de en sağlam sütunu ısıldinamikti. Bu bilim, mekanik ve elektromanyetikten çok farklıydı çünkü, özel hiçbirini öne sürmeksizin tüm modellere uygulanabilirdi. Klasik biçimiyle bu bilim Sadi Carnot'un (1796-1832) buhar makinasının bi-

limsel incelemesi sırasında ortaya çıkmıştı. Sonraları da Robert Mayer (1814-1878), Hermann von Helmholtz, W. Thomson ve sistemleştiren R. Clausius'un enerjinin korunumunu keşfetmeleriyle tamamlanmıştı. Isıldinamik iki masum görünüşlü önermenin sonucudur: (1) Sonsuz enerji yaratan bir makina yapılamaz. Buna, birinci türden sürekli devinim (=perpetual motion) denir ve bu önerme enerji korunumunu doğrular. (2) Sabit sıcaklıktaki bir kaynaktan ısı alıp bunu devinimsel işe dönüştüren bir makina yapılamaz. Lord Kelvin'in sözleriyle (1848), "Cansız bir araçla herhangi bir özdek parçasından, onu çevredeki en soğuk nesnenin sıcaklığının altına dek soğutarak devinimsel etki çekmek olanaksızdır." [W. Thomson, *Mathematical and Physical Papers*, cilt. 1, s. 174 (Cambridge University Press, 1882)]. Bu da ikinci türden sürekli devinim olacaktır. Bunun, birinci türden sürekli devinim kadar pratik yararları olduğuna dikkat edilmelidir, çünkü, örneğin basitçe denizden ısı alınıp işe dönüştürülebilecekti. Bu mümkün olsaydı, tüm enerji sorunları çözümlenebilirdi. Bu iki önelden (=postulate) birbirinden çok ayrı ve beklenmedik sonuçlar çıkarılabilir. Örneğin ısıldinamik, basınç altındaki suyun donma sıcaklığının 0'ın altına düşeceğini öngörür, bu da buzulların akışını izah eder.

Isıldinamik, önelleriyle aynı kesinlik derecesine sahiptir. Isıldinamikte uslamlama incelik gerektirse de sonuçları kesin ve sağlamdır. Planck ve Einstein'ın ısıldinamiği nasıl üzerine fiziksel bir kuram inşa edilebilecek biricik mutlak sağlam temel saydıklarını ve kuramlarını nasıl mutlak güvenle üzerine inşa ettiklerini göreceğiz. Aşılması güç engellerle her karşılaştıklarında, ısıldinamiğe dönmüşlerdir.

Isıldinamik tersinebilir (=reversible=tersine çevrilebilir), olgularla tersinemezleri (=irreversible) ayırt eder. İlkinin örneği, devinbilimde ele alındığı üzere, iki küre arasındaki tam esnek çarpışmadır; öte yandan gazın boşlukta yayılması tersinemezdir. Günlük deneyimlerimiz sırasında zamanın her iki yönünde ilerlemiş pratik açıdan tersinebilir olgularla karşılaşmışızdır. Örneğin, bir tam esnek çarpışmada son konumdan başlayıp, hızları tersine çevirir başlangıç konumuna ulaşabiliriz. Bunu yapmak, tersinemez bir olguda olası değildir. Bir kap içinde gaz moleküllerinin tümünün birden bir köşede toplanıverdiğini kimse görmemiştir. Bir olayın filmini çeksek, zamanda ileri ve geriye doğru oynatabiliriz. Olgu tersine çevrilebilen türdense, filmin doğru mu tersine mi oynatıldığına ilişkin hiçbir ölçüt bulamayız, yok eğer olgu tersinemez türdense filmi oynatmanın bir tek yolu olduğunu görürüz. Bir tencere suyun altındaki alevin suyu donana dek soğuttuğunu görürsek, tersinemez bir olayı tersten gözlemlediğimize karar veririz.

Herhangi bir sistemin bir konumundan bir diğerine tersinebilirce geçip geçemeyeceğimiz sadece başlangıç ve sonal konumlara bağlıdır. Tersinemez olgunun zaman yönü belirlidir. Tersinebilirlik düşüncesi, entropi kavramıyla arındırılıp niceliksel olarak açıklanabilir. Bir sistemin entropisi, hacmi ya da enerjisi kadar içseldir ve niceliği uygun deneylerle ölçülebilir. Tersinebilir değişiklik, yalıtılmış bir sistemin entropisini arttırır, böylece de entropi (Ç.N. 29) zamanla ya artar ya da en azından azalmaz.

(Ç.N. 29) Sözü edilen entropi, toplam yani yalıtık bir sistem olarak evrenin entropisidir. Ana sistemin entropisi, alt sistemlerin entropilerinin toplamıdır. Ama, yalıtık sistemlerdeki entropi değişiklikleri, arada bağlantı olmadığından, toplamı etkilemeyecektir.

Şimdilik herşey yolunda görünüyor. Ne var ki, tüm devinbilimsel ve elektromanyetik olgular bu iki bilimin çerçevesi içinde tersinir türdendir. Böylece, şu soruyla yüz yüze geliriz: Tüm ögesel olgular tersinir türdense ve tüm fiziksel olaylar da onların birleşimiyse, bildik (=macroscopic) dünyanın apaçık tersinemezliği nereden geliyor?

Bu temel sorun on dokuzuncu yüzyılın en yetkin zekalarından bazılarını da uğraştırmıştı. Onların çabalarından yeni bir bilim olarak ortaya çıkan istatistiksel devinbilim (=statistical mechanics) olasılık kavramını ileri sürdü ve böylece bir yandaki devinbilim ve elektirik ile öte yandaki ısıldinamik arasında bir köprü oluşturdu. İstatistiksel devinbilimin kurucularından bazıları Maxwell, R. Clausius, L. Boltzmann ve J. W. Gibbs'di.

Isıldinamiğin ikinci yasasının mutlak değil ama oldukça yüksek bir olasılıkla geçerli olduğu bulundu. Bu olasılık o denli yüksektir ki, makroskopik düzeyde bir aykırılığını gözlemek istediğimizde evrenin yaşına eş uzunlukta bir süre beklememiz gerekir. Örneğin, verilen birkap içindeki moleküllerin kabın sol yarısında toplanmasını hiçbir şey engellemez. Yine de, böyle bir olayı görmek için 10^{10} yıla, yani evrenin yaşına yakın bir süre beklemek zorunda kalabiliriz. Bu yüzden, büyük Maxwell Lord Rayleigh'e şöyle yazmıştı, *"Kısadan Hisse.* Isıldinamiğin ikinci yasası bir bardak dolusu suyu denize döktüğünüzde, aynı bardak dolusu suyu geri alamayacağınızı söylemek kadar doğrudur." [Rayleigh, *Lord Rayleigh'in Yaşamı,* s. 47 (Wisconsin Üniversitesi Yayınları, 1968)].

Isıldinamikte ilgilenilen entropi bir sistemin konumsal (Ç.N. 30) ve "düzensizlik" olasılığıdır. Yalıtık bir sistemde olasılık ve düzensizliğin ikisi de artma eğilimindedir.

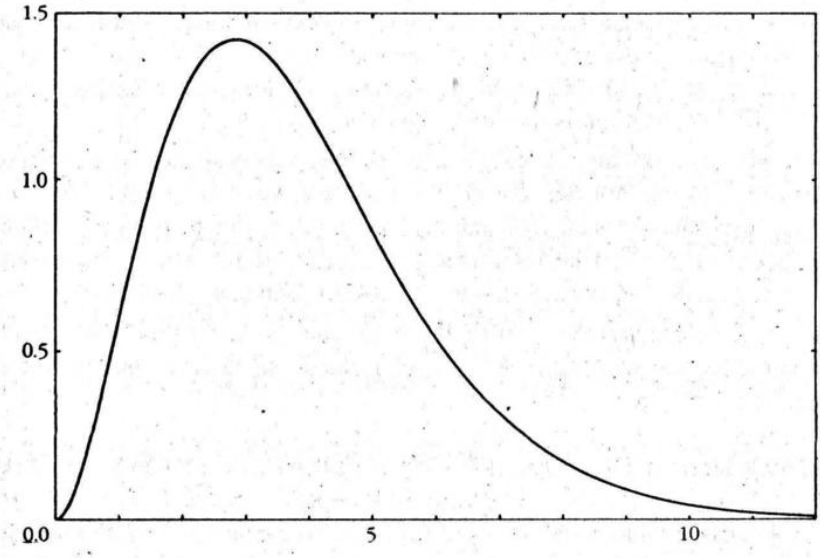
İstatistiksel devinbilim bize ısıldinamiğin dışına taşan sorunlarla uğraşma olanağı sağlar. Yine de, daha ayrıntılı modeller ya da başka öneller gerektirir, demek ki, ısıldinamikten daha az sağlam ve daha az değiştirilemezdir. Isıldinamik ve istatistiksel devinbilim çok parçacık, ya da daha teknik bir söylemle, büyük özgürlük ölçütü içeren sistemlere uygulandığında kullanışlıdır.

İstatistiksel devinbilimin önemli sonuçlarından biri, Maxwell'in tektip atomlu (=monatomic) gazlarda hız dağılımını düzenleyen yasayı bulmasıydı. Verilen herhangi bir hız aralığındaki moleküllerin sayısının gaz yoğunluğuna oranı, sadece gazın sıcaklığına ve gaz moleküllerinin mutlak kütlesine bağlıydı. Bu hız dağılımını ısıldinamikle değil ama istatistiksel devinbilimle hesaplayabiliriz. Maxwell bu yasayı 1859'da keskin bir uslamlamadan çok sezgi yoluyla keşfetmişti. Sonraları daha iyi kanıtlarını verdiyse de, ilk savları çarpıcı biçimde açık seçiktir ve dehasını ortaya koymaktadır. Doğrudan bir deneysel doğrulaması, ancak 1921'de O. Stern tarafından elde edilebilmiştir. (Bknz. Resim 4.1.)

İstatistiksel devinbilim Boltzmann ve Maxwell sonrası daha birçok başka fizikçi tarafından da çalışılmış ve oldukça başarı sağlamıştı. Birçok incelikli ve zor soruya yol açmıştı. Dikkat çekici bir kuramsal sonucu da, ısıl dengedeki herhangi bir özgürlük ölçütüne

---

(Ç. N. 30) Tüm olasılıklar içinde, var olan konuma sahip olma olasılığı

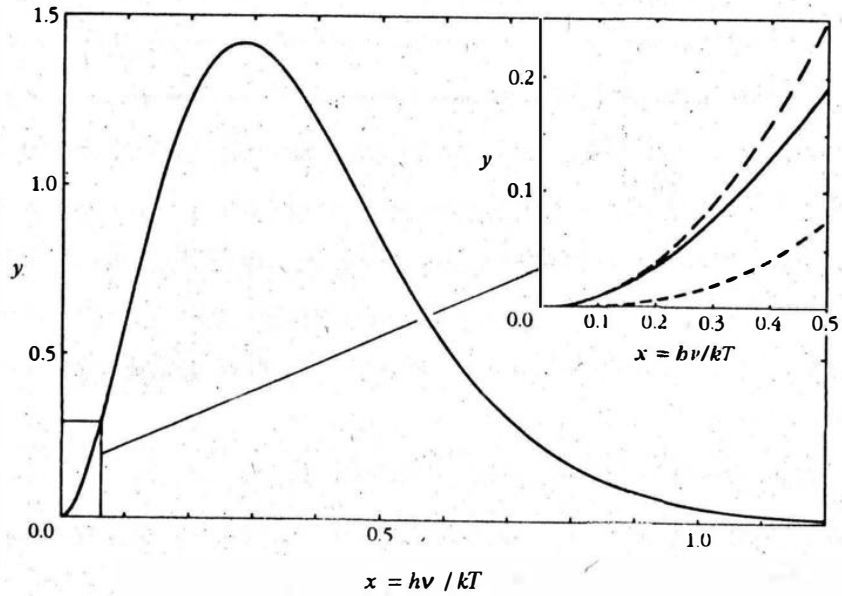


$x = m v^2 / 2kT$

Resim 4.1 (a) Gaz moleküllerinin hız dağılım grafiği, birim hız aralığında n sayıda molekül vardır. Bu eğri, yatay eksen eşeli (=scale) $x = (m / 2kT)^{1/2} v$ ve dikey eksen eşeli $y = (8m/\pi kT)^{1/2} n$ olmak üzere her m gaz molekül kütlesi ve T mutlak sıcaklığı için kullanılabilir. Eğrinin denklemi $y = x^2 \exp(-x^2)$ dir. En yüksek olasılıklı hız $(2kT/m)^{1/2}$ ve ortalama molekül devinim enerjisi, m kütlesinden bağımsız olarak $(3/2)kT$ 'dir. Bu sonuçlar Maxwell tarafından bulunmuştur.

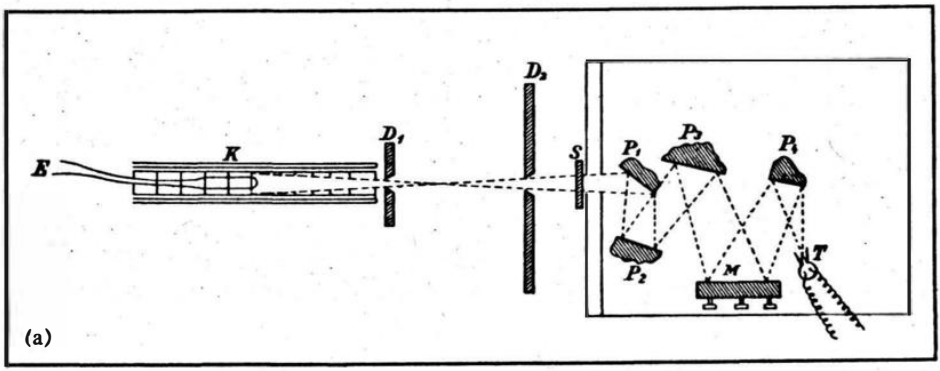
sahip sistemin ortalama enerjinin $kT/2$'ye sahip olacağıdır. Bu sonuç birçok kez deneysel yolla doğrulanmasına ve klasik devinbilim temelinde sağlamca kanıtlanabilir olmasına karşın bazı durumlarda geçerliliğini yitirir. Böylece, örneğin, bir atomun içsel özgürlük ölçütü kendini özgün ısıda açığa vurmaz ve tektip atomlu bir gazın noktasal atomlarının, öyle olmadıkları açık seçik ortadayken, özgün ısısına sahipmiş gibi görünür. Bu paradokslar istatistiksel mekaniğin öğrencileri Boltzmann, Lord Kelvin, Lord Rayleigh'i uğraştırmış ve daha birçok başkalarının kafasını karıştırmıştır. Yine de, onlar, sorunun köklerinin klasik devinbilimin geçerliliğinde yattığından kuşku duymamışlardı.

Klasik istatistiksel devinbilim hakkında olasılıkla en mükemmel yapıt Josiah Willard Gibbs tarafından 1902'de yazılmıştı, ince ama kapalı, anlaşılması zor bir kitaptı, adı *İstatistiksel Mekaniğin Ögesel İlkeleri*'ydi. On dokuzuncu yüzyılın en büyük Amerikan fizikçisi olan yazarının derinden özgün ve eleştirel bir zekası vardı. Yale Üniversitesi'nde ders vererek az çok kendi halinde bir yaşam sürmüş, Maxwell gibi insanların saygısını kazanmışsa da özellikle Amerika'da hemen hiç tanınmamıştı. Kitabının önsözünde diyordu ki,



(b) T sıcaklığındaki karacisimler için birim frekans aralığındaki enerji yoğunluğu $u(\nu,T)$ çizilmiştir. Bu eğri, yatay eksen eşeli $x = h\nu / kT$ ve dikey eksen eşeli $y = (\pi^2\hbar^2c^3/k^3T^3)\,u$ olmak üzere her sıcaklık için kullanılabilir. Eğrinin denklemi $y = x^3/(\exp x - 1)$'dir. Rayleigh ve Wien'in küçük x'ler için sınır biçimleri, küçük kutuda gösterilmiştir.

Üstelik, özdeksel cisimlerin yapısına ilişkin önelleri çerçeveleme girişiminden umut kestiğimizde, gerçekçi mekaniğin bir dalı olarak istatistiksel sorgulamaları sürdürür, en çetin güçlükleri aşarız. Bilimin şimdiki konumunda, atomların birleşmesine de eşlik eden elektiriksel belirtileri, ışımayı ve ısıldinamik olguları kapsayan moleküler davranışın dinamik bir kuramını tamamlama olasılığı çok zor görünüyor. Tüm bu olguları içermeyen şimdiki kuramların yetersizliği açıktır. Dikkatimizi kesinlikle ısıldinamik bir olguya kısıtlasak bile, iki atomlu bir gazın özgürlük ölçüt sayısı gibi basit sorunlardan kaçamayız. Kuramın, gaza, molekül başına altı özgürlük ölçütü tanıdığı iyi biliniyorsa da, özgün ısı üzerine yaptığımız deneylerde beşten büyüğünü işleme katamıyoruz. Özdeğin yapısına ilişkin önellere dayalı çalışma yapanlar, kesinlikle güvensiz temeller üstüne bina kuruyor demektir. Bu türden zorluklar yazarı doğanın gizlerini açıklama girişiminden vazgeçirmiş ve mekaniğin istatistiksel dalına ilişkin daha açık önermeler çıkarsamak gibi alçak gönüllü bir amaçla yarışa sokmuştur. Burada, önellerin doğal gerçeklerle uyuşkunluğuna ilişkin hiçbir şey varsayılmadığından, bu bağlamda hiçbir yanlışlık olamaz. İçine düşülebilecek biricik hata, öncüllerle (=premises) sonuçlar arasında uyuşkunluk isteğidir ki, bundan da, biraz dikkatle, eninde sonunda kaçınılabileceğini umuyorum.



Resim 4.2 (a) K fırınından (karacisim) yayılan kızılaltı kara ışımanın yeğinliğini ölçen aygıt. (b) Deneysel veriyle karşılaştırılmış, sabit frekans ve değişken sıcaklıkta karacisim emilim eğrileri. [H. Rubens ve F. Kurlbaum, *Annalen der Physik* 4, 649 (1901).]

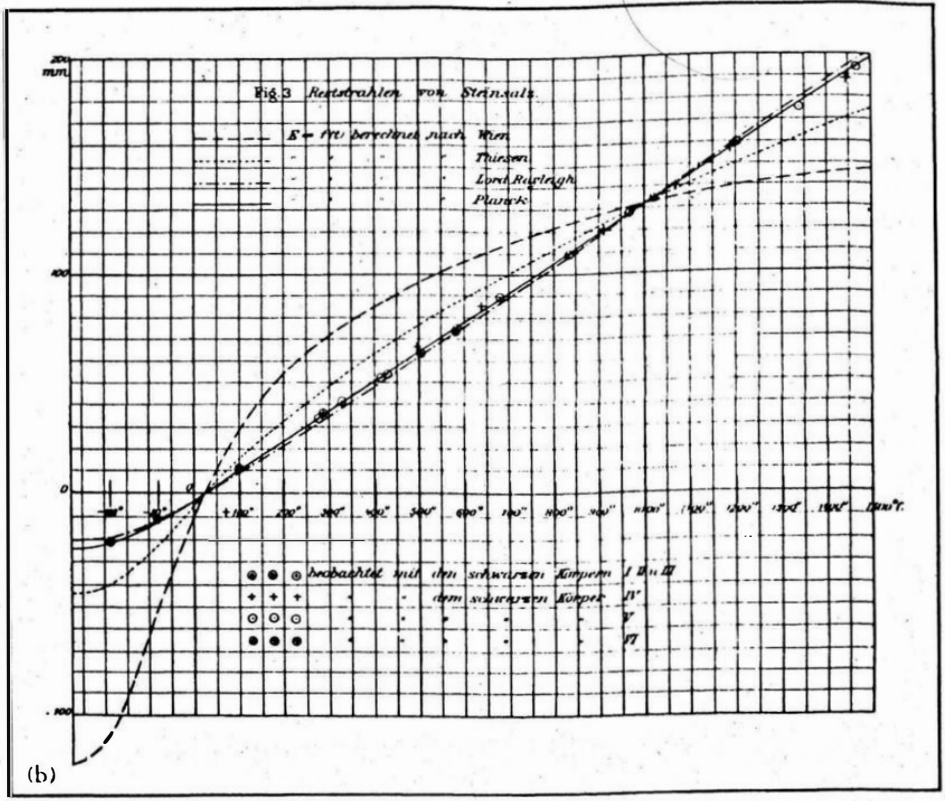
Kuşatıcı Bir Sorun: Karacisim

Gaz moleküllerinin hız dağılımına benzer bir başka sorun daha vardır - karacisim sorunu. Klasik ısıldinamik, bu sorunun çözümüne bazı önemli sınırlandırmalar getirmiş olsa da, sorunu tam olarak çözememiştir. Yüzyılın bitişinde Heinrich Rubens (1865-1922), Ernst Pringsheim (1859-1917), Berlin (National Bureu of Standars'ın Alman karşılığı olan (Ç.N. 31)) Physikalish Tecnische Reichsantalt'dan Otto Lummer (1860-1925) gibi seçkin deneysel fizikçiler, başka yerlerdeki kuramsal fizikçiler J. H. Jeans, Lord Rayleigh, W. Wien ile birlikte bu konuyu araştırmaktaydı. Bütün bunların üstünde, seçkin bir klasik ısıldinamikçi, Max Planck, aynı konu ile inatla boğuşuyordu. Önce sorunu açıklayacak, sonra Planck'tan söz edeceğim.

Karacisim, üzerine düşen elektromanyetik ışımayı tümüyle yutar. Bir fırın kapısına benzer bir delik, pratik açıdan bir karacisim gibi davranır. Bir cismin yaydığı güç, ya da yayınım (=emissivity), birim yüzey başına salıverilen elektromanyetik güçtür. Emilen güç de,

---

(Ç.N. 31) 'Ulusal Standartlar Bürosu' adıyla çevrilebilecek bu kuruluş, uzunluk, ağırlık, zaman ve benzeri niteliklerin nicel birimlerini belirleyerek korumak üzere oluşturulmuşken görev alanı zamanla yaygınlaşmıştır. Bizdeki Türk Standartlar Enstitüsü (=TSE), bazı ayrımlarla aynı işlevi yürütmektedir.



yüzey üzerine düşen enerjinin yutulan bölümüdür. (Ç.N. 32) Tanımı gereği, üzerine düşen tüm enerjiyi emdiğinden bir karacisim için emilen a gücü 1'e eşittir. Belirli bir frekansta yayımlanan elektromanyetik dalgalar biçimindeki ışıma ve tüm frekanslar, kendi yeğinlikleriyle değerlendirilir. Işımayı bir tayfölçer aracılığıyla inceleyebilir ve her frekans dilimi için enerjiyi, enerjinin tayf dağılımını elde edebiliriz. Bir fırının sıcaklığı da kapısından gözlenerek anlaşılabilir. Bir porselen yapımcısı ve Darwin'in dedesi olan T. Wedgewood, ısıtıldığında tüm cisimlerin aynı sıcaklıkta kızıla dönüştüğünü 1792'de fark etmişti. Bu kaba gözlem hassaslıkla 1859'da formüle edilmişti, Kirchhoff ısıldinamikten yararlanarak yayınımın emilime oran katsayısının, cismin doğasından bağımsız ve sadece sıcaklık ve frekansın fonksiyonu olduğunu kanıtlamıştı. Emilme katsayısı 1 olan bir karacisim için yayınım gücü karacismin pratik açıdan nasıl algılandığından bağımsız olarak salt sıcaklık ve frekansa bağlıdır. Resim 4.2a 'da Reichsastalt fizikçilerinin sabit bir sı-

(Ç.N. 32) Aslında, fiziksel bir tanım olarak güç, birim zaman başına düşen (yayılan ya da yutulan) enerjidir.

caklıkta tutulan kapalı bir fırındaki yayınımı ölçmekte kullandıkları eski bir aygıt parçası gösterilmiştir.

Kolaylıkla idrak edeceğimiz üzere bir karacismin yayınımını güden yasanın bulunuşu önemlidir. Cismin doğasından bağımsız olduğu gerçeği sonucun genelliğinin göstergesiydi ise de konu üstünde çalışan bilimciler bile karacisimin yayınımını araştırmanın ne temel ve uzak erimli sonuçlara yolaçacağından hiç kuşkulanmamışlardı.

Isıldinamik, karacismin yayınımı hakkında neler söyleyebilir? İlk ve en önemli sonucu, yukarıda sözü edilen Kirchoff yasasıdır. Daha ileri gidebilir miydi? Elektromanyetik kuramla birleştirilerek daha ayrıntılı sonuçlar verebilirdi. Toplam yayınım sıcaklığın dördüncü kuvvetine (=karesinin karesine) eşit olmak zorundaydı. Bu sonuç deneysel yoldan 1879'da Avusturyalı fizikçi J. Stefan (1835-1893) tarafından bulunmuş ve 1884'de Boltzmann'ın ısıldinamiği Maxwell'in elektrik kuramıyla birleştirmesiyle kuramsal yolla elde edilmişti. Bknz. Ekbilgi 1.

Bir sonraki adım 1893'de W. Wien tarafından atıldı. Yine ısıdinamiği Maxwell kuramıyla bağdaştırarak, yanınımın frekans küpüyle frekans bölü sıcaklığın bir fonksiyonunun çarpımı olduğunu gösterdi. Wien yasasından Stefan yasasını çıkarmak kolaydır. Wien yasası, ısıldinamikle Maxwell'in kuramını bağdaştırırken bizi ayrıntılı öntezlerle (=hypothesis) uğraştırmaksızın çok ötelere götürür. Gerçekte, aralarında Wien'inki gibi önemlileri de olmak üzere, yayınımın tam formülünü elde etmek için yapılan tüm girişimler başarısızdı. Verdikleri sonuçlar deneyle uyuşmuyordu, hatta saçmaydı, çünkü toplam yayınım sonsuza eşit çıkıyordu. Yayınım yerine karacismin oylumu örneğin bir fırın içindeki enerji yoğunluğunu ele almak çoğu kez daha uygundur. Enerji yoğunluğu frekansa göre irdelendiğinde yayınıma orantılı olduğu görülür; orantı katsayısı, c ışık hızı olmak üzere $4\pi/c$'dir.

Max Planck

Şimdi, yayınım yasasını bularak büyük atılımlar yapmış ve tüm fizik üzerinde hiç beklenmedik görünümlere yol açmış olan Max Planck'a (Resim 4.3) dönelim. Planck 18 Nisan 1858'de Almanya'da Kiel'de protestan askerler ve hukukçular neslinden bir ailenin çocuğu olarak doğmuştu. Babası seçkin bir hukuk profesörüydü. Plancklar Almanların en iyi nitelikli örnekleriydi: Güvenilirlik, göreve bağlılık ve belki de kesin katılık ailenin özellikleri arasında sayılabilirdi. Planck'ın yaşamı derin trajedilerle örülmüştü. Boş zamanlarını, profesyonellere taş çıkartacak kadar başarılı olduğu müzik ve ileri yaşlarına dek sürdürdüğü dağcılıkla değerlendirirdi.

Planck'ın ailesi, Almanya'nın birleşmesinden önce 1867'de Bavyera'da Münih'e göç etmişti. Planck'ın Münih'de gittiği lisede iyi bir fizik öğretmeni vardı ve enerji korunum ilkesini çarpıcı örneklerle vurgulayarak genç öğrenciyi etkilemişti. Münih Üniversitesi'nde oldukça önemli derslere girdi ve sonra, Alman geleneğini izleyerek üniversite üniversite dolaşıp Kirchhoff ve Helmholtz gibi iki ünlüden ders aldığı Berlin'e gitti. Kirchhoff öğ-

Resim 4.3 Max Planck (1858-1947) 42 yaşlarındayken. Paketcik etkisini keşfi (1900) olguların betimlenmesinde kökten değişimi zorlamış ve fiziğin birçok alanına süreksizliği sokarak doğal felsefede devrime neden olmuştu.

rencilerin seyrekçe uyuklamasına olanak tanıyan çok cilalı dersler verirdi. Helmholtz ise doğru dürüst hazırlanmadığından zor izlenirdi. Planck, aynı derslere birlikte girdiği Heinrich Hertz gibi, ailesine yazdığı mektuplarda bu konuya değinmiştir. Böylece kendi başına kalan Planck ısıldinamik ve tersinemezlik üzerine bir tez seçti ve derecesini 1879'da Münih'te aldı.

Tezi önemliydi ama pek fark edilmedi. Planck "Eindruck Null" [Etki yok] dedi. Helmholtz okumadı, Kirchhoff beğenmedi, Planck tezini Clausius'a sunmak istediyse de ona ulaşamadı. Tezinde Planck, düşüncelerinden bazılarını ısıldinamiksel denge çalışmalarına uyguladı ve ileride birkaç fizikçi kuşağının genel ısıdinamik metni olacak ders kitabına koyacağı güzel bir bölüm yazdı. Yine de, Planck, Gibbs'in onu birkaç yönden geçtiğini bilmiyordu. Amerikalı, sonuçlarını - pek bilinmeyen bir dergi olan *Transactions of the Connecticut Academy of Sciences*'de basmıştı. Planck bunları bulup okuduğunda hayal kırıklığına uğradı.

Planck'ın ilk öğretim üyeliği memleketinde, Kiel'deydi. Kirchhoff 1889'da öldüğünde Berlin Üniversitesi, Boltzmann'ı Viyana'dan çağırıp Kirchoff'un yerini almasını istemişti.

Boltzmann bu çağrıyı önce kabul ettiyse de sonradan Berlin'in Prusyalı atmosferini sevmediğinden karar değiştirip ret etti. Boltzman'ın öneriyi geri çevirmesinden sonra da Berlin Üniversitesi, beklenmedik biçimde Planck'ı çağırdı. Helmholtz Berlin'in sözü en çok geçen kişisiydi. Planck onunla bir meslekdaşı olarak tanıştı ve giderek büyük bir sevgi, derin bir saygı ve hayranlık beslemeye başladı. Özyaşam öyküsünde Helmholtz'un onu iki vesileyle övdüğünden sözeder: geliştirdiği kuramı ve Hertz'i takdir etmesi.

Planck'ın temel ve genel sorunlara duyduğu sevgi, onu öteki atom modelleri ya da öntezlerden bağımsız olan karacisim sorunuyla ilgilenmeye yöneltmişti.

Yayınım yasasının keşfi, tüm çabalarına değecek bir amaçtı ve bu yüzden 1897'de Planck konu üzerinde çalışmaya başladı. Wien, ısıldinamiği kullanarak yayınımın bazı genel özelliklerini bulduktan sonra, yasayı bütünlüğüyle keşfettiğini düşünerek 1893'de bir bağıntı ileri sürdü. Bu bağıntı önelleri, Resim 4.1a ve 4.1b'deki gibi deneysel verilerle uyuşuyor gibi görünmüştü. Gaz içindeki moleküllerin hız dağılımını andırıyor ve doğru izlenimi uyandırıyordu. Planck yıllarca bu bağıntıyı, elektrodinamiği ısıldinamikle bağdaştırıp elde etmek için çok uğraşmıştı. Ne var ki Boltzman, denge koşullarının gerektirdiği doğru istatistiksel irdelemesini yapmadığından Planck'ın uslamlamasının yanlış olduğunu gösterdi. Bunun üzerine başlayan canlı bir kamu tartışması sırasında Planck'ın öğrencilerinden biri istatistiksel mekaniğin matematiksel temellerine saldırdı; Boltzmann, Planck'ın kendisinin de sonunda kabul etmek zorunda kaldığı gibi, haklı olarak sertçe karşılık verdi.

Tüm bu yavaşlatıcı etkilere karşın, Planck kendi çalışmasını sürdürdü ve önemli bir sonuca ulaştı. Isıldinamik, karacisim ışımasının duvarların doğasına değil üzerindeki sıcaklığa bağlı olduğunu göstermekteydi. O yüzden Planck, karacismin duvarlarını, davranışı hesap edilebilen Hertzcil salınıcılar (=oscillators) olarak irdelemeyi düşündü. Böylelikle, o zamanlar henüz bilinmeyen gerçek moleküllerin ayrıntılı yapısıyla uğraşmaktan da kurtulmuş oluyordu. Bu önemli yalınlaştırmayla Planck, ışınım gücünün salınıcıların ortalama enerjisine oranlı olduğunu buldu. Öte yandan, Maxwell ve Boltzmann'ın gösterdikleri gibi, ortalama salınıcı enerjisinin mutlak sıcaklığa orantılı olması istatistiksel devinbilimin apaçık bir zorunluluğuydu. Bağıntı şöyleydi;

$$\langle E \rangle = (R / A)\, T = kT$$

burada $\langle E \rangle$ salınıcı enerjisinin ortalama değeri, R ideal gazın bir molünün oylumu, basıncı ve sıcaklığı arasındaki $pV = RT$ bağıntısında görülen evrensel sabit ve A Avogadro sayısı yani bir moldaki molekül sayısıdır. Başka bir deyişle, V oylumundaki bir molekül için $pV = kT$ olacaktır. Planck, $R/A = k$ oranına Boltzman sabiti adını verdi ve bu ad evrensel ölçekte benimsendi. Buna karşın Boltzmann makalelerinde k'yı hiç kullanmadı, her gerektiğinde R/A yazdı. Rayleigh'in belirlediği üzere, Planck'ın salınıcının ortalama enerjisiyle yayınım gücü arasındaki sonuçlarının bireşimi

$$u(\nu\, T) = \frac{8\pi\nu^3}{c^3}\, kT$$

bağıntısını veriyordu. Bu yasa, deneysel verilerle uyuşmuyor, daha da kötüsü, mantığa da aykırı görünüyordu, çünkü tüm frekanslar üzerinden integrali alınan yayınım gücü sonsuz çıkıyordu.

Planck çalışmasının başında, Wien'in önerdiği ve deneysel verilerle uyuşan $\mu(\nu, T) = A\ \nu^3\, e^{-\beta\nu T}$ bağıntısının bir kanıtını bulmak istemişti. Isıldinamiğin kaptanı olarak, salınımcıların entropisi için, Wien'in bağıntısını verecek bir denklem önerdi ve ısıldinamik zorunluluklara uyan bu seçiminin eşsiz (=unique) olduğunu göstermeye çalıştı.

Bu sırada, deneyler Wien'in bağıntısı üstüne kuşku düşürmeye başlamıştı. Reichsanstalt'daki fizikçiler kızılaltı ışıması için düşük frekanslarda uyuşmazlığın olası deneysel hatadan daha büyük olduğunu buldular. Planck bu sonuçlardan haberdardı ve ışıma entropisi için önerdiği denklemi genelleştirerek düzeltmeye çalıştı. Bknz. Ekbilgi 2. Bu yeni denklemden de ışınımı yeniden hesapladı ve 19 Ekim 1900'da Berlin Üniversitesi'ndeki bir fizik seminerinde açıkladığı bir bağıntı buldu. Aynı gece, Rubens ve Kurlbaum Planck bağıntısını kendi deneysel sonuçlarıyla karşılaştırarak tam uygunluk buldular. Planck karacisim bağıntısını bulmuştu. Belki sadece şanslı bir içuyarlamaydı (=interpolation) ama doğru çıkmıştı.

Şimdi, kuramsal açıdan sınanmalıydı. Planck'ın, yirmi yıl sonra Nobel söylevinde belirttiği gibi,

> *Ama ışıma denkleminin tam doğruluğu kanıtlanmış olsa bile eninde sonunda şans yardımıyla bulunmuş bir içuyarlama bağıntısıydı ve bu nedenle içim pek rahat değildi. Bu yüzden, keşfedildiği günden itibaren fiziksel bir anlam verebilmek için çok uğraştım ve bu beni Boltzman'ın düşünceleri doğrultusunda olasılık ile entropi arasındaki ilintiyi ele almaya yöneltti. Hayatımın en yorucu çalışmasıyla geçen bir kaç hafta sonunda ışık görünmeye ve umulmadık manzaralar uzaktan belirmeye başladı. [1920 Nobel Ödülü]*

Planck ne yapmıştı? İlkin, kolayca, $\mu(\nu, T)$'ye karşılık gelen, ışımanın entropi denklemini bulmuştu ama şimdi onun doğruluğunu kanıtlamak zorundaydı. Klasik ısıldinamikle uğraştığı sürece bildik topraklardaydı ve bu alanın ustasıydı ama şimdiki konusu klasik ısıldinamiğin sınırları dışına taşıyordu. Yabancısı olduğu, daha da önemlisi, çok daha az güven duyduğu istatistiksel devinbilimin yöntemlerini kullanmak zorundaydı. İlerlemenin de başka bir yolu yoktu doğrusu.

Olasılığın tanımındaki bazı ciddi zorluklar bir yana, olasılık ile entropi arasında ilk olarak Boltzmann tarafından bulunmuş (ve Viyana'daki anıtına kazılmış olan) bir ilinti vardır:

$$S = k\ \log W$$

Bu denklemde W ısıldinamiksel olasılıktır, k da Planck'ın Boltzman sabiti adını verdiği değerdir.

Karacisim duvarının Hertzcil salınıcılarının belirli bir enerji ve entropi dağılımları vardır. Boltzmann'ın temel denklemi kullanılarak istatistiksel yoldan hesaplanabileceği gibi, denge konumunda entropi maksimumdur. Bireşimsel analiz yöntemleriyle olasılığı hesaplamak için,

Planck salınıcı enerjisini küçük ama sıfır olmayan sınırlı değere sahip niceliklere bölmenin uygun olacağını düşündü, böylelikle salınıcıların enerjisi de, P bir tamsayı olmak üzere $E = P\,\varepsilon$ biçiminde yazılabilecekti. Bu öntez ile Planck salınıcının ortalama enerjisini hesaplayıp karacisim bağıntısını buldu. Planck, ε 'nun alabildiğine küçük olacağını ve E'nin küçük değerlere ayrılmasının salt matematiksel bir kolaylık sağlamaktan öte anlam taşımayacağını ummuştu. Ama, Wien'in ısıldinamik yasasına uygun sonuçlar için, ε sıfırdan büyük ve salınıcının frekansına orantılı çıktı,

$$\varepsilon = h\nu$$

$$u(\nu T) = \frac{8\pi\nu^3}{c^3} \quad \frac{h}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

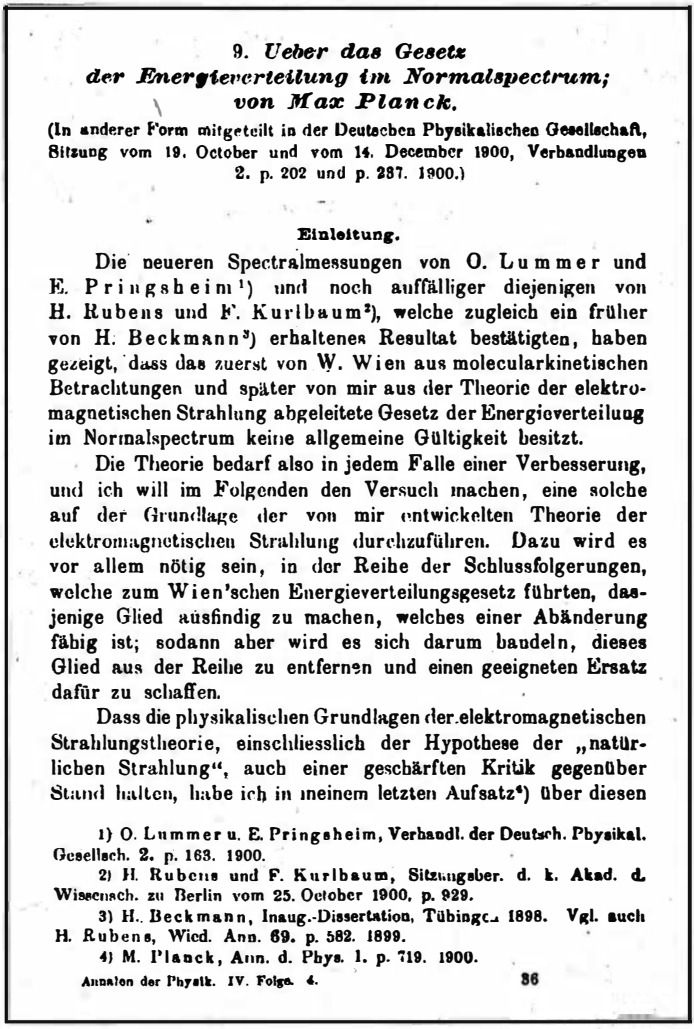
h yeni bir evrensel sabitti ve doğallıkla *Planck sabiti* adını aldı.

Böylece karacisim içindeki enerji yoğunluğu,

oldu, $h\nu$ sınırlı bir değerdir ve enerji paketçiğidir. Harmonik salınıcı klasik devinbilim ve elektrikteki gibi herhangi bir enerjiye değil, ama ancak $h\nu$ 'nin birbirinden ayrı tamsayılı katlarına sahip olabilirdi. $h\nu / kT << 1$ için Planck bağıntısı Rayleigh'in bulduğu klasik limit için yaklaşık bir denklem; $h\nu / kT >> 1$ için de Wien'in 1893'de bulduğu bağıntıyı veriyor, ara bölgede ise, ikisiyle de uyuşmuyordu, ama kuşkusuz deneysel ölçümlerle destekleniyordu (Bknz. Resim 4.1b (küçük kutu) ve 4.2).

Sonuç devrimseldi. Bir uzman ve kesinlikle açıksözlü bir yargıç olan Albert Einstein, konu hakkında şöyle yazmıştı, "Fiziğin kuramsal temellerini bu yeni kavramlara uyarlama girişimlerim tümden başarısızlığa uğramıştı. Sanki insanın altından toprak çekip alınmıştı, üzerine bina kurulabilecek hiçbir sağlam temel de ortalıkta görünmüyordu." [Schilpp, *Albert Einstein, Filozof-Bilimci*, s. 45].

Kuramın ne gece kabusu ne de gündüz hayali olmadığı açıktı, çünkü deneysel sonuçlar sağlam, doğru ve uzak erimliydi. Henüz ilk makalesinden itibaren Planck, Stefan'ın yasası ile Wien'in ısıldinamik yasasından h,k gibi evrensel sayıları bunlardan da elektronun yükü, Avogadro sayısı ve daha birçoklarının çıkarılabileceğini göstermişti. Planck'ın 1900 makalesinde $h = 6{,}55 \times 10^{-27}$ erg.sn ve $k = 1{,}346 \times 10^{-16}$ erg/ °C değerlerinin yer aldığını gö-



9. *Ueber das Gesetz der Energieverteilung im Normalspectrum;* von *Max Planck.*

(In anderer Form mitgeteilt in der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Sitzung vom 19. October und vom 14. December 1900, Verhandlungen 2. p. 202 und p. 237. 1900.)

Einleitung.

Die neueren Spectralmessungen von O. Lummer und E. Pringsheim[1]) und noch auffälliger diejenigen von H. Rubens und F. Kurlbaum[2]), welche zugleich ein früher von H. Beckmann[3]) erhaltenes Resultat bestätigten, haben gezeigt, dass das zuerst von W. Wien aus molecularkinetischen Betrachtungen und später von mir aus der Theorie der elektromagnetischen Strahlung abgeleitete Gesetz der Energieverteilung im Normalspectrum keine allgemeine Gültigkeit besitzt.

Die Theorie bedarf also in jedem Falle einer Verbesserung, und ich will im Folgenden den Versuch machen, eine solche auf der Grundlage der von mir entwickelten Theorie der elektromagnetischen Strahlung durchzuführen. Dazu wird es vor allem nötig sein, in der Reihe der Schlussfolgerungen, welche zum Wien'schen Energieverteilungsgesetz führten, dasjenige Glied ausfindig zu machen, welches einer Abänderung fähig ist; sodann aber wird es sich darum handeln, dieses Glied aus der Reihe zu entfernen und einen geeigneten Ersatz dafür zu schaffen.

Dass die physikalischen Grundlagen der elektromagnetischen Strahlungstheorie, einschliesslich der Hypothese der „natürlichen Strahlung", auch einer geschärften Kritik gegenüber Stand halten, habe ich in meinem letzten Aufsatz[4]) über diesen

1) O. Lummer u. E. Pringsheim, Verhandl. der Deutsch. Physikal. Gesellsch. 2. p. 163. 1900.

2) H. Rubens und F. Kurlbaum, Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. zu Berlin vom 25. October 1900, p. 929.

3) H. Beckmann, Inaug.-Dissertation, Tübingen 1898. Vgl. auch H. Rubens, Wied. Ann. 69. p. 582. 1899.

4) M. Planck, Ann. d. Phys. 1. p. 719. 1900.

Resim 4.4 Planck'ın *Annalen der Physik* [4, 553 (1901)]'de basılan makalesinin kapak sayfası, paketçik fiziğinin doğuş sinyallerini veren h sabiti ilk kez burada görünmüştür.

rüyoruz. (Resim 4.4 ve 4.5). Bugün bildiğimize göre $h = 6.6262 \times 10^{-27}$ erg.sn ve $k = 1.380 \times 10^{-16}$ erg / °C'dır. Aradaki farklar çok küçüktür. Bu sayılardan Planck elektron yükünü ve Avogadro sayısını da elde etmişti. Bu ölçümlerin yerine daha iyilerinin konmasından yaklaşık yirmi yıl önceydi. Başarı hem ışınım sabitlerini ölçen Reichsanstalt ve Berlin'deki diğer kuruluşların hem de ilk kez fiziğin bu denli ayrı alanlarında bağ kuran Planck'ın kuramınındır.

Planck dokunaklı bir not ekliyor: "Ludwig Boltzmann'dan kuramlarımla ilgilendiğini ve

Hierbei sind h und k universelle Constante.

Durch Substitution in (9) erhält man:

$$\frac{1}{\vartheta} = \frac{k}{h\nu} \log\left(1 + \frac{h\nu}{U}\right),$$

(11) $$U = \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{k\vartheta}} - 1}$$

und aus (8) folgt dann das gesuchte Energieverteilungsgesetz:

(12) $$u = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \cdot \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{k\vartheta}} - 1}$$

oder auch, wenn man mit den in § 7 angegebenen Substitutionen statt der Schwingungszahl ν wieder die Wellenlänge λ einführt:

(13) $$E = \frac{8\pi ch}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{ch}{\lambda k\vartheta}} - 1}.$$

Resim 4.5 Planck'ın aynı makalesinden başka bölümler. Yukarıda, (127 sayılı denklem sıçaklık O ve frekans v'ın fonksiyonu olarak karacisim ışımasındaki enerji dağılımı bağıntısını içermektedir. Aynı yerde Boltzmann sabiti k, ışık hızı c gibi h sabiti de görünmektedir. Aşağıda, (15) ve (16) sayılı bağıntılar h ve k 'nın 1900'deki değerleridir. Bu sayıları kullanarak,elektronun yükü, Avogadro sayısı ve öteki evrensel sabitlerinin sayısal değerleri bulunabilir. Uzun yıllar, bu sayıların yerlerine daha iyileri konamamıştır.

Hieraus und aus (14) ergeben sich die Werte der Naturconstanten:

(15) $$h = 6{,}55 \cdot 10^{-27}\ \text{erg} \cdot \text{sec},$$

(16) $$k = 1{,}346 \cdot 10^{-16}\ \frac{\text{erg}}{\text{grad}}.$$

Das sind dieselben Zahlen, welche ich in meiner früheren Mitteilung angegeben habe.

1) O. Lummer und E. Pringsheim, Verhandl. der Deutschen Physikal. Gesellsch. 2. p. 176. 1900.

(Eingegangen 7. Januar 1901.)

uslamlama çizgisinle tam uyuşkunluk içinde olduğunu öğrenmem bana, karşılaştığım şikayetleri dengeleyen bir doyum sağladı." Bununla birlikte, Boltzmann uyuşkunluk içinde olsa da, Planck'ın uslamlaması sayısız ciddi itirazla karşılaşmıştı. Böylesi temel ve devrimsel düşünceler kolayca ortadan kaldırılamaz. Yukarıda sözü edilen birçok çatlaklara karşın, çalışma gözardı edilmemişti ama ilgi odağında da bulunmuyordu. O günlerde birbirinden şaşırtıcı keşifler yapılıyordu, Planck'ın kendisi ise kullanılan yöntemlere karşı o denli çekingendi ki sonuçlarını daha az devrimsel bir yolla açıklamaya çalışarak yıllar harcadı.

1931'de Amerikalı fizikçi R. W. Wood, paketçik kuramı gibi akıl erdirilmez birşeyi nasıl bulduğunu sorduğunda Planck şöyle yanıtlamıştı, "Bir umutsuzluk davranışıydı. Altı yıldır karacisim kuramıyla boğuşuyordum. Sorunun temel olduğunu ve yanıtını biliyordum. Isıldinamiğin yıkılamaz iki yasası dışında ne pahasına olursa olsun kuramsal bir açıklama bulmak zorundaydım. " [Armin Herman, *Paketçik Kuramının Doğuşu* (MIT Yayınları, (1971), s. 23]. Yaşamının sonunda daha çoğunu söyledi:

> *Ögesel paketçik ile klasik kuramları bir biçimde bütünleştirmeye boşuna çalışmışlığım yıllarca sürdü ve büyük çabaya maloldu. Meslekdaşlar mın çoğu neredeyse bir trajedi görüyordu burada, ama benim görüşüm farklıydı çünkü bu çalışmada sağladığım düşüncelerimin derinden netleşmesi, benim için çok değerliydi. Şimdi kesinlikle biliyorum ki etkinin paketçiği başta kuşkulandığımdan çok daha temel önemdedir.*

Yine de, başlarda bile Planck buluşunun önemlinin farkındaydı. Bir yürüyüş sırasında, oğluna, Newton'unki kadar önemli birşey bulduğunu söylediği anlatılır.

Zaman geçtikçe, Planck en çok sayılan Alman fizikçi haline geldi. Prusya Bilimler Akademisi sekreteri ve Alman biliminin en etkin temsilcilerindendi. Alman hükümetince pek sempati duyulmayan Einstein, farklı bilimsel ve siyasal görüşleri olsa da, meslekdaşına karşı derin bir saygı duyuyordu. Arkadaşlıkları, ortak sevgileri müzik sayesinde, zaman zaman birlikte de çalıyorlardı, daha da güçlenmişti. Bilimsel yüceliğinin yanısıra, Planck'ın karakteri evrensel saygı uyandırıyordu. Koyu bir tutucu, kendini doğal felsefenin en büyük devrimlerinden birini kışkırtmak üzere gerçeklerin gücü ve mantığın karşısında zorlanmış buldu.

Planck ömrü boyunca büyük acılar yaşamıştı. İlk eşi 1909'da, ondan olan dört çocuğunun üçü de Birinci Dünya Savaşı sırasında öldü. (En büyük oğlu cephede öldü, evli iki kızı ise doğum yaparken.) Yeniden evlendi ve bir oğlu daha oldu. Yetmiş beş yaşındayken de Hitler'in güç kazandığını gördü. Diktatörün propagandası ve yalanları ile kötleşmemiş Planck gibi bir Alman milliyetçisi için, bu çok sert bir darbeydi. Arkadaşlarının ve meslekdaşlarının ricası üzerine, Alman biliminin önemli bir bölümünü destekleyen ve şimdi Max Planck Enstitüsü (Ç.N. 33) adını taşıyan Kaiser Wilhelm Gesellschaft adlı kuruluşun başkanlığını üstlendi. Özellikle hiç de hoş olmayan böylesi koşullar altında ağır bir yük ama Planck, kurtarabildiğini kurtarmayı görev sayıyordu. Hitler'in seçmalıklarından hiç değilse en kötülerini düzeltebileceğini umarak görüşmeye de gitmişti, ama Führer onu kapıyı gösterdi. Sonraları, birinci evliliğinden hayatta kalan biricik oğlu, Hitler karşıtı olduğu gerekçesiyle Naziler tarafından 1944'de düzenlenen suikastle öldürüldü. Artık iyice yaşlanmış olan Planck evini de bir hava bombardımanı sırasında kaybetti ve kendini geri çekilen Almanlarla, ilerleyen Müttefikler arasında kıstırılmış buldu.

Durumu öğrenen bir Alman fizikçi, araba yollamıp Planck'ın daha emin bir yer olan Göt-

---

Ç.N. 33) Kitabın yazıldığı 1970'li yıllarda ise, Max Planck Topluluğu (=Society) adını taşımaktaydı.

tingen'e götürülmesi için Amerikalılara ricada bulundu. Savaş sürüyordu ve Almanya Planck'a bir çok onur bağışlayarak barbar yüzünü açığa vurdu. Doksanıncı doğum günü için büyük bir kutlama töreni de hazırlanmıştı, ama Planck bir kaç önce 4 Ekim 1947'de öldü.

5

Einstein - Düşünmenin Yeni yolları: Uzay, Zaman, Görelilik ve Paketçikler

Popüler düşüncede Einstein (1879-1955), fiziğin, ete kemiğe bürünmesidir. Bu kez popüler düşüncenin doğru olduğu kanısındayım, henüz öngörülemeyen gelişmelerin yüzyılın sonraki dilimlerinde ortaya çıkmasıyla Einstein yirminci yüzyılın en büyük fizikçisi, tüm zamanların da en büyüklerinden biri sayılacaktı. Eğer Raphael, hayata dönüp modern "*Atina Okulu*" fizikçileri tablosunu yapacak olsaydı, Galileo ile Einstein'ı, Newton ve Maxwell'i göğü, Faraday'la Rutherford'u da yeri gösterirken resmederdi herhalde.

Uzlaşmasız bir gençlik

Einstein Ulm'da 14 Mart 1879 tarihinde, özgür düşünceli Alman Yahudisi bir ailenin çocuğu olarak doğmuştu. Babası, pek para kazanamayan bir mühendisti. Albert, çocukluğunu Münih'de geçirmiş ve evde zekasının işaretlerini erkence vermiş olmasına karşın okulda olağanüstü başarılar sağlayamamıştı. Ortaokulda Alman öğretim sistemini sevmemiş, karşılığında ona ters davranan öğretmenlerle çatışkıya düşmüştü. Bu erken deneyimlerden ötürü de resmi Alman makamlarına karşı bir düşmanlık kazanmıştı. Olumsuz iş koşulları aileyi 1894'de Milan'a göçe sürükledi, öğrenimini tamamlaması için Münih'de bırakılmış olan Einstein da hasta olduğu gerekçesiyle sonradan İtalya'daki ailesine katıldı. İtalya'yı daha çok seven Einstein, burada kaldığı kısa süre içinde Milan'dan Cenova'ya 160 km tutan yolu gezi amacıyla yürüyerek aştı.

Einstein sonra Zürih'deki Politeknik Okul'a (*Eidgenossische Technische Hochschule*, ya da *EITH*) giriş için başvurdu ama, sadece yeterli bir lise diploması olmayışından değil, matematik ve fizikte üstün başarı sağlamasına karşın giriş sınavını da geçemediğinden (Ç.N. 34) başvurusu kabul edilmedi. Sınavı kazanabilmek amacıyla, Aarau'daki cimnazyumda (Ç.N. 35) öğrenim görmeye gitti. Orada çok mutluydu, İsviçre'ye aşık olmuştu; sonradan İsviçre vatandaşlığına geçti ve yaşamı boyunca bir daha ayrılmadı. Sonunda Politeknik Okul'a

(Ç.N. 34) Einstein, jeoloji dersinden geçer not alamamıştı.

girdiğinde matematik profesörleri, ikisi de birinci sınıf bilginler olan H. Minkowski ve A. Hurwitz'di; ama ne onlardan pek birşey öğrenebilmiş, ne de onlar Einstein'ı fark etmişlerdi. Yine de, Einstein modern fiziğin büyük problemlerine kendibaşına eğilmeye başlamıştı bile, bilgi ve ilhamı kendi okuduklarından sağlıyordu. İleride büyük bir ünle üniversite profesörü olacak, İsveç asıllı öğrenci Marcel Grossmann'la arkadaş olmuştu. Einstein, matematiksel simgeler yerine kendi gözleriyle olguları gördüğü pratik fizik işliğini de sevmişti.

Mezun olduğunda, geçimini sağlayabilecek bir iş bulmakta güçlük çekmişti; ilkin yedek öğretmen olarak çalışıp, özel fizik dersleri vermişti. 1902'de Grossmann ailesi Berne kantonundaki patent dairesinde alçakgönüllü bir iş buldu. Bu sıralarda Einstein Mileva Maric'le evlendi. Biri, ileride Berkeley'deki Kaliforniya Üniversitesi'de hayli saygın bir mühendislik profesörü olacak, iki oğulları oldu.

Patent ofisindeki iş Einstein için çok uygundu. (Resim 5.1) Gönderilen buluşları incelediği ofisdeki işleri arasında, saptırılmadan bağımsız düşünecek zaman da buluyordu. Sonraları gençlere, düşünmek ve özgün düşünceler üretmek amacıyla benzer işlere girmelerini öğütlemişti. O zamanlar, karacisimle ünlü W. Wien'in yönetimindeki Annalen der Physik'e gönderdiği fizik makaleleri yazmaya başladı. 1901'de bir, 1902'de iki ve 1903 ile 1904'te de birer tane sundu. Tümü de istatistiksel devinbilim ve ısıldinamik alanlarında derin araştırmalardı. Birkaç yıl önceki Planck'ın durumuna benzer biçimde, aynı konular daha önceleri Gibbs tarafından da ele alınmıştı, ama Einstein bunu bilmiyordu.

Sonra, 1905'de Einstein'ın dehası eşsiz biçimde parladı. Mart'da, Mayıs'da ve Haziran'da, her biri tek başına onu ölümsüz kılmaya yetecek üç çalışma yayımladı. Sadece Newton, yirmi üç yaşındayken Woolsthorpe'daki köyüne veba yüzünden kapanmak zorunda kaldığında benzer bir sıçrama yaşamıştı. (Ç.N. 36) İlk çalışma -"Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt" [Işığın yaratılış ve iletilişine ilişkin uzdilli bir bakış noktası] - ışık paketçiklerinin keşfini ve küçük bir uygulama olarak da ışıelektrik (=photoelectric) etkisinin açıklanmasını içermektedir (Resim 5.2). İkincisi -"Über die von der molekularkinetischen Theorie der Warme geforderte Bewegung von in ruhender Flüssigkeiten suspendierten Teilchen" [Isının kinetik kuramınca belirlenen durgunluktaki sıvılarda parçacıkların devinimleri üzerine] - Browncil devinim kuramını içermekte ve bir kez daha atomların gerçek varlığını gösterip Boltzmann sabitini yeni bir yoldan saptamaktadır.

Üçüncüsü (Resim 5.3) -"Zur Elektrodynamik bewegter Körper" [Devinen cisimlerin elektrodinamiği üzerine]- özel görelilik kuramını içermekte, buradan da, herkesin Einstein'ı tanımasına neden olan ünlü $E = mc^2$ bağıntısı çıkarılmaktadır. Aslında, bu bağıntının

---

(Ç.N. 35) Cimnazyum (=gymnassium), Avrupadaki üniversite altı eğitim kurumlarından biridir.

(Ç.N.36) Sıçrama sözcüğünün İngilizce karşılığı olarak kullanılan 'spring' deyimi, yayın boşalması, bereket ve ilkbahar anlamlarına da gelmektedir.

Resim 5.1 Albert Einstein (1879-1955). Berne'de federal patent ofisinde görevli olduğu ve Annalen der Physik'de 1905'de yayımlanan çalışmasını yazdığı dönemi gösteren bir resim.

atom bombasının gizi" olduğuna inananlar vardır. Onun bir giz olduğu doğrudur, ama tek boynuzlu at gibi, ikisi de hayal ürünüdür.

Bu, birbirinden çok ayrı konular üzerindeki çalışmalar, Einstein'ın bilimsel kişiliğinden kaynaklanan bazı ortak özellikler gösterir. Tümü yalın matematiksel yöntemler kullanır, açık görüşlüdür ve devrimseldir. Deneylere sıkıca yaslanan, uzlaşmaz mantık uygulayarak hiç beklenmedik sonuçlara ulaşırlar.

Görelilik

Önce üçüncü, görelilik üzerine olan çalışmayı tartışacağım. Bu araştırmadan atom bombasının olduğu kadar güneşin içindeki enerji dengesi ve dev parçacık ivmelendiricilerine dek çok geniş erimli (=range) ve pratik sonuçlar doğmuştur. Bütün bunların üzerinde, sözkonusu makale bizim uzay ve zaman kavramlarımızda devrime yol açmıştır. Yüzyıllar boyunca düşünürler bu kavramları irdelemeye çalışmış ama hiçbiri de Einstein'ınki kadar derin ve belirgin sonuçlara asla ulaşamamışlardır.

Einstein'ın bu ve öteki çalışmalarını açıklayabilmek için, ışık konusunun biraz dışına çıkmalıyım. Işık üzerine araştırmalar Yenidendoğuş (=Rönesans)'da başlamış ve Newton ile C. Huygens döneminde doruğa ulaşmıştır. Bu erken Galileo sonrası iki dev fizikçi, ışık hakkında birbiriyle çelişkili kuramlar üretmişti. Newton'a göre, ışık çok hızla devinen taneciklerden yapılmıştı; Huygens'e göre de, ışık çok hafif bir ortamda, esirde (=ether) yayılan dalgalardan oluşuyordu. Bu kuramların zıtlığı yıllarca sürdü, ama 1800'lerin başlarında ışığın girişim gösterdiği tanıtlandı; yani, ışığı ışıkla toplayarak karanlık elde edilebilirdi. Bu olgu dalga kuramıyla kolayca açıklanabiliyordu, çünkü eşit yeğinlikteki iki dalga, evreleri (=phase) ters ise - birinin tepeleri ötekinin çukurlarını doldurarak bir birini yok edebiliyordu. Üstelik, dalga kuramı daha yoğun ortamdaki saçınım sırasında ışığın daha yavaş yayılmasını gerektiriyor, parçacık kuramında ise tersi gerçekleşiyordu. Bu bağlamda da deneyler dalga kuramını doğruluyordu.

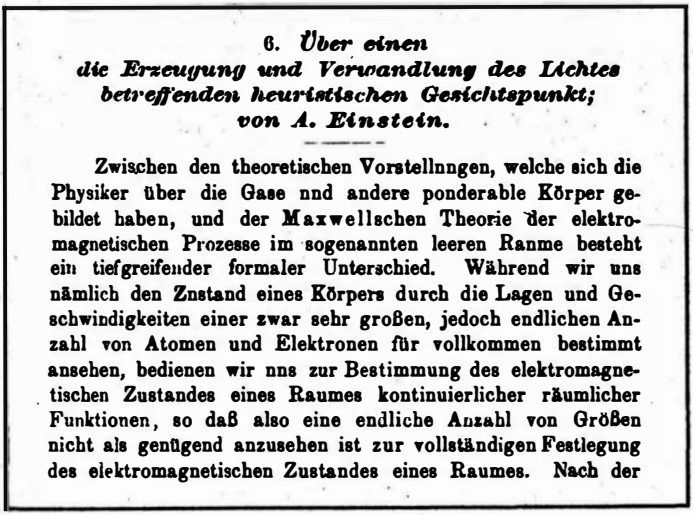
Ayrıca, genellik ve etkinlik açısından neredeyse insanüstü görünen Maxwell denklemleri, bilinen tüm ışık olaylarını açıklamaya yetiyordu. Yayılma hızı kondansatör, mıknatıs, galvanometre gibi, ilk bakışta ışıkla ilintisiz sanılan elektrik aygıtlarıyla işliklerde ölçülebilen elektriksel niceliklere bağıntılandırılabiliyordu.

Işık, esirin titreşimlerine indirgenince sorun da esirin özelliklerini belirlemeye dönüşmüştü. Bazı kuramlarda esir, esneklik katsayısı gibi bir takım mekanik özelliklerle ortaya çıkıyordu. Tümünde ise, şu ya da bu biçimde bir esirin varlığına mutlaka gereksinme duyuluyordu.

Bir ışık kaynağı ya da bir gözlemci esire göre hareket ederse, bu devinim kendini bir biçimde açığa vurmalıydı. Ses havada yayılırken, kaynağı da durgun havaya göre ses hızıyla (1 mach) hareket edecek olursa, *ses duvarı* diye bilinen etki ortaya çıkar. Oysa tersine, hiçbir şeyin esire göreceli olarak devindiği de gözlenemiyordu. Örneğin, ışığın boşluktaki hızının her zaman $c = 2.997924 \times 10^{10}$ cm/sn olduğu bulunmuştu. Bu sonuç, önce A. A. Michelson sonra da Michelson ve E. W. Morley tarafından hassaslıkla doğrulanmıştı. Deneyde Michelson girişimölçerlerinden (=interferometer) biri, dünyanın hareket yönüne göreceli olarak birçok doğrultuda yerleştirilerek kullanılmıştı.

Michelson (1852-1931) (o zamanlar Prusya'daki) Strelno'da doğmuş, ama çocukken ailesi Kaliforniya'ya göç ettiğinden kovboy filimlerindekine benzer bir altın madeni yakınlarındaki kasabada büyümüştü. Annapolis yakınlarındaki Deniz Akademisi'ne gitmiş, deniz astteğmeni rütbesiyle mezun olmuştu. Askeri eğitimini uzun ve parlak bir bilimsel kariyer izlemiş ve onu en ünlü Amerikan fizikçisi ve Nobel Ödülü kazanan ilk Amerikalı yapmıştı. Işığın hızına ilişkin ölçümlerinin görelilik kuramının dayanaklarından biri olduğu genellikle düşünülürse de, bunlar Einstein'ı 1905'de pek etkilemiş gibi görünmemektedir.

Einstein, olasılıkla önsel olarak Maxwell denklemlerinin, birbirine göre düzgün doğrusal hareket yapan tüm referans sistemlerinde biçim değiştirmeyeceğine inanmıştı. Belki de bu sonuca gençliğinde ışığın c hızıyla hareket eden bir gözlemciye nasıl görüneceği konusuna kafa yorarken ulaşmıştı. Her ne ise, Einstein için ışık hızının değişmezliği tartışılmaz bir gerçekti. Her referans sisteminde aynı olmak zorundaydı. 1905 makalesinde gönderme yapmadığına bakılırsa, Einstein olasılıkla Michelson'un doğrudan kanıtlamasından habersizdi.



6. *Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt;*
von A. Einstein.

Zwischen den theoretischen Vorstellnngen, welche sich die Physiker über die Gase nnd andere ponderable Körper gebildet haben, und der Maxwellschen Theorie der elektromagnetischen Prozesse im sogenannten leeren Ranme besteht ein tiefgreifender formaler Unterschied. Während wir uns nämlich den Znstand eines Körpers durch die Lagen und Geschwindigkeiten einer zwar sehr großen, jedoch endlichen Anzahl von Atomen und Elektronen für vollkommen bestimmt ansehen, bedienen wir nns zur Bestimmung des elektromagnetischen Zustandes eines Raumes kontinuierlicher räumlicher Funktionen, so daß also eine endliche Anzahl von Größen nicht als genügend anzusehen ist zur vollständigen Festlegung des elektromagnetischen Zustandes eines Raumes. Nach der

5. *Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen;*
von A. Einstein.

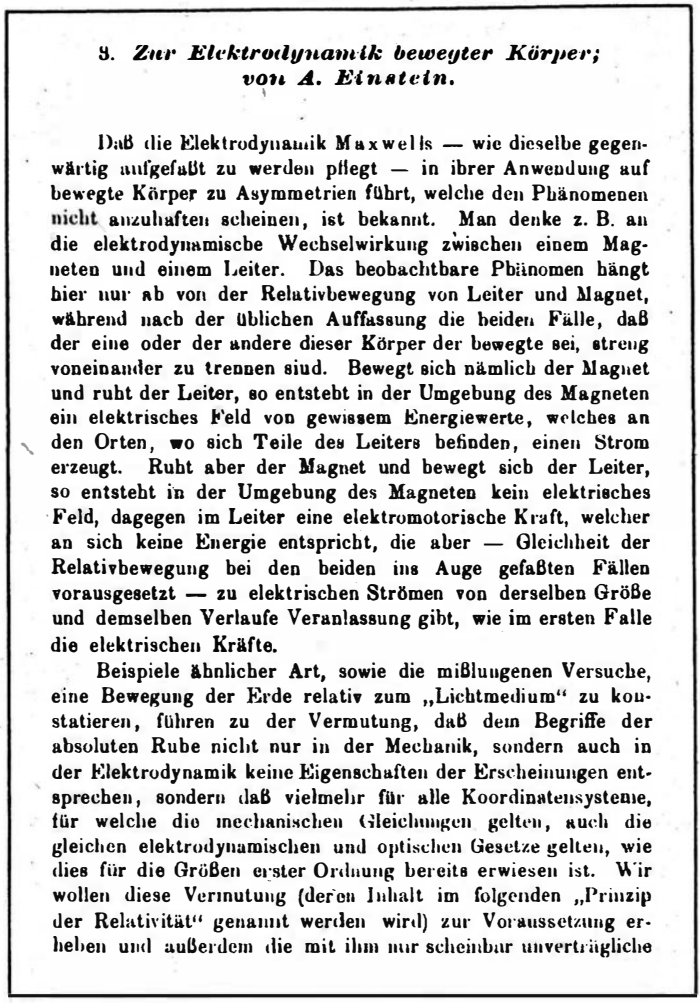
In dieser Arbeit soll gezeigt werden, daß nach der molekularkinetischen Theorie der Wärme in Flüssigkeiten suspendierte Körper von mikroskopisch sichtbarer Größe infolge der Molekularbewegung der Wärme Bewegungen von solcher Größe ausführen müssen, daß diese Bewegungen leicht mit dem Mikroskop nachgewiesen werden können. Es ist möglich, daß die hier zu behandelnden Bewegungen mit der sogenannten „Brownschen Molekularbewegung" identisch sind; die mir erreichbaren Angaben über letztere sind jedoch so ungenau, daß ich mir hierüber kein Urteil bilden konnte.

Resim 5.2 Yukarıda, 1905'in üç büyük çalışmasından ilkinin başlık kapağı, makale ışık paketçikleri öntezini formüle ediyordu. Yazının taslağı *Annalen der Physik*'e 18 Mart 1905'de ulaşmıştı. Aşağıda, ikinci büyük çalışma: Browncil devinimin moleküler kuramını formüle ediyordu, dergiye 11 Mayıs 1905'de ulaştı.

Einstein'ın görelilik ilkelerinin belitsel (=axiomatic) öntezleri ısıldinamiğin öntezlerini çağrıştırır ve şunlardır.

(1) ***Görelilik öntezi*** : Birine göre sabit yönde ve büyüklükte bir hızla giden bir başka referans sistemini ilkinden ayırt edebilmek mümkün değildir. Bu tür sistemlere süredurumsal (=inertial) denir. (Ç.N. 37) Ayırt edilemezlik, birinci ya da ikinci sistemde yapılan her deneyin sisteme ilintili her gözlemciye aynı sonuçları vereceği anlamındadır.

(2) ***Işık hızının değişmezliği öntezi*** : Işığın hızı, kaynağının deviniminden bağımsızdır.



3. *Zur Elektrodynamik bewegter Körper; von A. Einstein.*

Daß die Elektrodynamik Maxwells — wie dieselbe gegenwärtig aufgefaßt zu werden pflegt — in ihrer Anwendung auf bewegte Körper zu Asymmetrien führt, welche den Phänomenen nicht anzuhaften scheinen, ist bekannt. Man denke z. B. an die elektrodynamische Wechselwirkung zwischen einem Magneten und einem Leiter. Das beobachtbare Phänomen hängt hier nur ab von der Relativbewegung von Leiter und Magnet, während nach der üblichen Auffassung die beiden Fälle, daß der eine oder der andere dieser Körper der bewegte sei, streng voneinander zu trennen sind. Bewegt sich nämlich der Magnet und ruht der Leiter, so entsteht in der Umgebung des Magneten ein elektrisches Feld von gewissem Energiewerte, welches an den Orten, wo sich Teile des Leiters befinden, einen Strom erzeugt. Ruht aber der Magnet und bewegt sich der Leiter, so entsteht in der Umgebung des Magneten kein elektrisches Feld, dagegen im Leiter eine elektromotorische Kraft, welcher an sich keine Energie entspricht, die aber — Gleichheit der Relativbewegung bei den beiden ins Auge gefaßten Fällen vorausgesetzt — zu elektrischen Strömen von derselben Größe und demselben Verlaufe Veranlassung gibt, wie im ersten Falle die elektrischen Kräfte.

Beispiele ähnlicher Art, sowie die mißlungenen Versuche, eine Bewegung der Erde relativ zum „Lichtmedium" zu konstatieren, führen zu der Vermutung, daß dem Begriffe der absoluten Ruhe nicht nur in der Mechanik, sondern auch in der Elektrodynamik keine Eigenschaften der Erscheinungen entsprechen, sondern daß vielmehr für alle Koordinatensysteme, für welche die mechanischen Gleichungen gelten, auch die gleichen elektrodynamischen und optischen Gesetze gelten, wie dies für die Größen erster Ordnung bereits erwiesen ist. Wir wollen diese Vermutung (deren Inhalt im folgenden „Prinzip der Relativität" genannt werden wird) zur Voraussetzung erheben und außerdem die mit ihm nur scheinbar unverträgliche

Resim 5.3 1905'in üçüncü büyük çalışması. "Devinen cisimlerin elektrodinamiği üzerine" başlığını taşıyan makale görelilik hakkındaydı. *Annalen der Physik*'e 30 Haziran 1905'de ulaştı ve 17. ciltte s. 891'de basıldı. Önceki iki çalışma aynı cildin sırasıyla 132. ve 549. sayfalarında basılmıştı.

Einstein'dan önceki fizikçiler, devinen cisimlerin elektromanyetiği tarafından sergilenen sorunlarla boğuşuyordu. Diğerleri gibi, Hertz de, bir dizi bağıntı bulmaya çabalamıştı. Lorentz, G. F. FitzGerald ve Poincaré konu üzerinde derince düşünmüşlerdi. Lorentz, sağduyu

(Ç.N. 37) Türkçede eylemsizlik, devinimsizlik karşılıkları sayılmışsa da, kapsamları dardır, sabit hızla devinme konumunu dışarıda bırakırlar.

rentz, G. F. FitzGerald ve Poincaré konu üzerinde derince düşünmüşlerdi. Lorentz, sağduyu ve Galileo kuralları uyarınca bir referans sisteminden ötekine geçildiğinde, Maxwell denklemlerinin biçimlerini korumadığını bulmuştu. Birinci sistemde uzay koordinatına x, zamana da t; ilkine göre sabit bir v hızıyla hareket eden ikinci sistemdeki karşılık niceliklere de x' ve t' denildiğinde, Galileo dönüşüm denklemleri şöylece yazılır:

$$x' = x - vt$$
$$t' = t$$

Bu kurallar uyarınca koordinatları bir sistemden ötekine dönüştürünce, Maxwell denklemlerinde hemen görülebilen değişiklikler ortaya çıkar. Zamanın her iki sistemde de aynı olduğuna özellikle dikkat edilmelidir.

Lorentz, Maxwell denklemlerini değişmez bırakan ve $v << c$ iken Galileo'nun dönüşümüne indirgenen bir koordinat dönüşümü, ünlü Lorentz dönüşümünü keşfetmişti. Bu denklemler şöyle yazılır

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}$$

$$t' = \frac{t - vx/c^2}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}$$

Lorentz dönüşümleri doğrudur, ama zamanında küçük bir matematiksel hileden biraz daha ciddiye alınmıştı.

Einstein uzay ve zaman dönüşümü sorununa derin ve neredeyse çocuksu bir tazelikle yaklaştı. Güçlü mantığıyla uzay ve zaman kavramlarını irdeleyip, ilgili niceliklerin nasıl ölçüleceğine ilişkin uygulamalı bir yöntem kullanarak elle tutulur ve sağlam koşullar aradı. Kuşkusuz, araçları ve düzeneklerini değil, ama deneyin mantığını sorgulamıştı. Bu irdelemeden, tümüyle beklenmedik sonuçlar doğdu. Örneğin, eşzamanlılığın göreceli olduğunu keşfetti: Bir gözlemci için değişik yerlerde aynı zamanda meydana gelen olaylar ilkine göre sabit hızla hareket eden bir ötekine göre aynı anda ortaya çıkmıyordu. Benzer olarak, ikizler paradoksundan söz edilebilir: İkizlerden biri bir referans sisteminde kalırken ötekisi düzgün doğrusal bir eşbiçimli (=uniform) hareketle uzaklaşır, sonra da hareket yönünü geri çevirip döner. Bu ikiz ilkiyle yeniden karşılaştığında, onu biraz daha yaşlı bulur.

(Ç.N. 38) Bu konudaki kuşkular, bozunan parçacıklarla yapılan deney sonunda giderilmiş ve göreliliğin öngördüğü sonuç doğrulanmıştır. Herşeyin ötesinde, Galileo'nun değil Lorentz'in dönüşümünün uzay ve zamanı doğru olarak ölçmeye karşılık geldiği açığa kavuşmuştur.

Günlük deneyimlerle çelişkili göründüğünden, eskilerin bir çok fizikçisine yavan gelmişse de, Einstein'ın mantığına karşı konulamaz. "göründüğünden" sözcüğünü vurguluyorum, çünkü, gerçekte hiç bir çelişki yoktur.

Einstein'ın profesörlerinden biri, Herman Minkowski (1864-1909) uzay ve zaman koordinatlarının dönüşümü için incelikli bir matematiksel denklem geliştirdi. Üçü uzaya, biri de zamana ait olmak üzere dört-boyutlu uzay önerdi. Bu uzayın en ilginç özelliği, iki nokta arasındaki uzaklığın Pythagoras kuramına uymayışıdır, bu kurama göre, $s^2 = x^2 + y^2 + z^2$ dir. Minkowski'nin dört-boyutlu uzayında biraz farklı bir bağıntı kullanılır: $s^2 = x^2 + y^2 + z^2 - c^2t^2$. Dört-boyutlu uzaya zaman katılmıştır ve son terimin önündeki eksi işareti durumu kökten değiştirir. 1908'deki dönem açan konuşmasında Minkowski, yeni kavramlarını şu sözlerle açıklamıştı:

> *Baylar, önünüze sermek istediğim uzay ve zaman görüşleri deneysel fiziğin toprağından fışkırmıştır ve bu nedenle güçlüdür. Köktendir. Bundan sonra salt uzay ve salt zaman zavallı birer gölgeye dönüşerek sönecek ve ikisinin bir tür bileşimi bağımsız bir gerçek olarak sürecektir. [80. Versammlung Deutscher Naturforscher und Aerzt konuşması, Köln 1908]*

Minkowski, Einstein'ın özgün çalışmasını görünce eski öğrencisini anımsadı ve doğrusu, şöyle dedi, "İşe bakın! Böylesine parlak bir çalışmayı bu delikanlıdan asla ummazdım."

Görelilik kuramının sonuçları umulmadık, çok derin ve geniştir. Einstein'ın düşüncelerinde ışık hızı evrensel bir değişmez olarak yer alır ve temel özelliği tarihsel bağla elektromanyetiğe aşkın oluşudur. Uzay ve zamanı Lorentz dönüşümüyle birbirine bağlar; sinyal eğitimiyle geçilemiyecek en yüksek hızdır; dinginlikteki $p = mv / \sqrt{(1 - v^2/c^2)}$ $E = m c^2 / \sqrt{(1 - v^2/c^2)}$ bağıntılarda yer alır. Cisimlerin, kuvvetin ivmeye oranı olarak tanımlanan kütleleri, hıza bağımlı hale gelir. Kütle korunumu artık hassaslıkla doğru bir yasa değildir ve

$$m c^2 = E$$

bağıntısına göre kütlenin enerjiye dönüşebildiği enerjinin korunumu yasasının genelleştirilmişiyle yer değiştirir.

Modern fizikçiler kütlesiz "parçacıklar" da keşfetmişlerdir, en dikkat çekeni ışık paketçiğidir (bakınız bir sonraki konu). Bu parçacıklar için $E = cp$'dir ve her süredurumsal sistemde ışık hızıyla devinirler.

(Ç.N. 38) İkinci ikiz durup geri döndüğünden hızı sabit kalmayıp değişmiştir. Bu da özel görelilik koşullarına uymaz. İkizler paradoksu, yazarın yukarıda sözünü ettiğinden biraz farklıdır.

Yeni kavramlar fiziği sarsar. Göreliliğin temel dönüşüm bağıntısını bulan büyük kuramsal fizikçi H. A. Lorentz bile yeni kavramları benimsemekte zorluklarla karşılaşmıştı. Engeli oluşturan matematik değildir, bu alandaki güçlükler önemsizdir. Engel, düşünüşün gerçekçi yolundadır ve kuram ancak bir kuşak sonrasının fizikçilerine alışıldık gelmiştir. Fizikteki derin düşünceler yavaşça sindirilir, çünkü asıl olarak onları yaratan kuşaklar onları "duyumsayamaz". Olgun fizikçiler öğrenebilir ama asıl sindirme çağdaşlar ölüp yenilerin yerine gelenlerin yeni düşünceleri temelden öğrenmeleriyle ortaya çıkar. Paketçik fiziğinde bu olguya açıkça tanıklık ettim. Şunu da eklemeliyim ki, yeni kuşaklar baştan özgür düşüncelidir ve yaratıcıların boğuştuğu itiraz ve ikilemlerden de habersizdir.

Görelilik ancak çok yavaşlıkla sindirildi. Örneğin 1922'de İsveç Akademisi Einstein'a Nobel Ödülü'nü "kuramsal fiziğe katkıları ve özellikle ışılelektrik etkisi yasasını keşfettiği için" verdi. Görelilikten söz edilmemesi tuhaf gelebilir, ama geriye bakıldığında bana kalırsa bu seçimde bir bilgelik yatmaktadır. Görelilik, diğer sınırsız "katkı"larının yanında küçücük kalmaktadır.

Işık Tanecikleri ve Molekül Çarpışmaları

Şimdi, Einstein'ın olağanüstü yıl 1905'de yazılmış üçüncü makalesine dönüyoruz. Bence bu makale fiziğin en büyük çalışmalarındandır. O sıralar bilimciler, ışığın elektromanyetik dalgalardan oluştuğunu biliyordu; kesin olan bir şey varsa o da buydu zaten. Yine de Einstein bundan kuşkulandı ve ışığın ikili - dalga ve tanecikli doğasını açığa çıkardı. Özdeğin benzer ikili yönleri doğrultusundaki bu keşif, çağın en büyük fethi oldu. Newton ve Huygens hiç beklenmedik bir biçimde, doğal felsefede ikisinin de kısmen haklı olduğunu gösteren derin bir devrimle uzlaştırıldı.

Planck, kendi uslubu içinde karacismin duvarlarını oluşturan salınıcıların enerjisini paketciklendirmişti (=quantized). Işıma yöntemine göre sadece u (ν, T) bağıntısını elde edebiliyordu. Planck'ın kişisel olarak Maxwell denklemlerinin, oyuğu dolduran elektromanyetik dalgaları kesinlikle betimlediğinden hiç kuşku duymadığına inanıyorum. Ama, Einstein Maxwell betimlemesinin Planck'ın karacisim bağıntısıyla uyuşkun olup olmadığını merak etti ve ışığın kendisinin yarı-tanecikli paketlerden oluştuğu sonucuna ulaştı. Bu uslamlamayı bir kenara bırakamam, çünkü okuduğumda etkinliği ve yalınlığı beni neredeyse gerçek anlamıyla çarpmıştı. (Bknz. Ekbilgi 3.)

Einstein, Planck'ın salınıcılarla ışımalar arasındaki enerji alışverişine ilişkin türetişine (=derivation) şu sözlerle dikkat çekmişti, "dolaylı olarak, tekil salınıcıların enerjiyi sadece $h\upsilon$ büyüklüğündeki paketçikler halinde emip yayımladığına, yani ışıma enerjisinin olduğu kadar salınım yapabilir mekanik yapıların enerjisinin de elektrodinamik ve mekaniğin yasalarına aykırı olarak sadece böylesi paketçikler biçiminde aktarıldığına inanılmaktadır."

Klasik fizik bizi kaçınılmaz olarak Planck bağıntısı için Rayleigh-Jeans yaklaşımına getirir. Bu yaklaşım $h\nu / kT << 1$ için doğrudur ve söz konusu yaklaşımın denklemleri için-

de h görünmez. $h\nu / kT >> 1$ için Wien bağıntısı doğrudur ve klasik kavramlar iflas eder. Einstein dikkatini Wien bağıntısı üzerinde yoğunlaştırdı ve bundan belirli bir oylum içindeki belirli bir frekansdaki ışımanın entropisine ya da daha titiz bir deyimle, enerjiyi sabit tutarak entropinin değişimine ilişkin bir denklem türetti. Einstein şöyle düşünüyordu "bu denklem, yeterince düşük yoğunluktaki tek renkli ışımanın entropisinin, tıpkı ideal gazın entropisi gibi hacimle değiştiğini gösteriyor. ..." Sonra da Boltzmann yöntemiyle entropiyi hesaplamaya girişti ve şu sonuca ulaştı:

Eğer ν frekanslı ve E enerjili tekrenkli bir ışıma tam yansımalı duvarları olan bir V oylumuna kapatılmışsa, herhangi bir anda tüm enerjinin V_0 oylumu içindeki v kısmi oylumunda bulunma olasılığı şu bağıntıyla verilir

$$W = \left(\frac{v}{V_0}\right)^{E/\eta\nu}$$

Buradan da (Wien ışıma bağıntısının doğruluk çerçevesi içinde kalan) düşük enerji yoğunluklu tek renkli ışımanın, kuramsal ısıldinamik bağıntılarda $h\nu$ (*) büyüklüğündeki ayrı ve bağımsız enerji paketçiklerinden oluşuyormuş gibi davrandığı sonucunu çıkarabiliriz.

Einstein bu sonucu, ışığın dalga kuramını destekleyen tüm ezici kanıtlara karşın çok ciddiye aldı ve şöyle düşündü:

Entropinin oyluma bağlılığı böyle ise, yeterince düşük yoğunluktaki tek renkli ışımanın, $h\nu$ büyüklüğündeki enerji paketçiklerinden oluşan bir süreksiz ortam gibi davranır. Işığın da aynı enerji paketçiklerinden oluşuyormuşcasına ışığın dönüşüm ve yayınım yasalarını sorgulamak akla yatkındır. Bir sonraki bölümde bu soruyla ilgileneceğiz. [Einstein, Annalen der Physik 19, 143, (1905)]

İzleyen bölümde Einstein ışıkimyasal irdelemeler ve başka düşünceler kadar inceden inceye ışıkelektrik etkiyle ilgilenir. Tümü de ışık paketçiğini doğrulayan öntezlerinin örnekleridir.

Planck'ın düşüncelerini izleyen gelişme çok büyüktür. Planck, belki de gerçekte enerji düzeylerinin varlığına inanmaksızın, karacismin duvarlarını oluşturan özdeksel salınıcıları paketçiklendirmişti. Planck'ın ilk ve hatta sonraki çalışmaları, paketçiklendirmenin onun açısından matematiksel hileden biraz daha önemli olduğu izlenimini uyandıracak havadadır.

Öte yandan, Einstein için, bu bir temel olgudur; özelde, ışık, yani elektromanyetik alanın kendisi paketçiklidir. Paketçiklendirme ışığın yayılma olgusuyla uzlaştırılmaya çalışılırsa, doğallıkla, üstesinden gelinmesi zor güçlüklere yol açar. Bu sorunlardan kaçmak yerine, Einstein onların temel niteliklerini kavradı ve kısmen kendisi kısmen de başkalarınca çözümlenene dek konu üzerinde kafa yormaktan hiç kaçınmadı.

(*) Günümüz okuyucusunun kolaylığı için h ve k simgelerini kullandım. Einstein, R gaz sabiti ve N Avogadro sayısı olmak üzere $\beta = h/k$ ve $R/N = k$ kullanırdı.

Şimdi de Einstein'ın 1905 makalelerinden ikincisine geleceğiz. 1827'de İskoç bitkibilimci Robert Brown (1733-1858), suda asılı duran polen tanecikleri ya da başka küçük nesnelerin raslantısal devinim yaptığını gözlemişti. Browncil adıyla anılan bu devinim, nesneyi çevreleyen moleküllerin çarpması sonucunda ortaya çıkıyordu. Einstein, Browcil devinimin gazların kinetik kuramına dayalı bir kuramını ileri sürmüştür. Moleküllerin varlığının neredeyse elle tutulur kanıtı kadar, Avogadro sayısı ve Boltzmann sabitini belirleyecek dolaysız bir yöntem ortaya koymuştur. (Bknz. Ekbilgi 4.)

Patent Ofisinden Evrensel Üne

Bu olağandışı çalışmalar bilim dünyasının dikkatini çekmekte gecikmedi; Mart 1906'da Planck Einstein'ın görelilik kuramı üzerine bir makale yayınlamıştı bile. Ama henüz ne büyük ustayı görmüş olan vardı, ne de ustanın patent ofisinden ayrılıp büyük fizikçilerle görüşmeye gittiği. Neyse ki, birkaç maceraperest genç Alman bilimci, Bay Einstein'ın kim olduğunu öğrenmek amacıyla Berne'e gitmeye karar verdi. Onu ofisinde buldular. Ev yaşantısı biraz kalenderceydi, ama kibardı ve düşünceleri hakkındaki her türlü kuşkuyu gidermeye her an hazırdı. Einstein Planck ve Lorentz'le yazışmaya başladı, çok geçmeden de İsviçre yönetiminden Berne Üniversitesi'nde alçakgönüllü bir kadro teklifi aldı. Başlangıçta biçimsel nedenlerden ötürü *Privat Dozent* (Bknz. Ç.N. 10) yapmak istememişlerdi, ama 1908'de Zürih Üniversitesi bu ünvanı verdi. Prag'daki Alman Üniversitesi 1909'da bir üyelik önerince Einstein kabul etti. Ne var ki, Einstein Habsburgs'ların Avusturya'sındaki Prag'da pek mutlu olamadı. Yapay soluluk ve Yahudi karşıtı ikliminden rahatsızlık duymuştu. Einstein, en azından resmi Tanrı bilgisi (=theology) anlayışına görelikle kökten agnostik (Ç.N. 39) olduğu için, resmi dine karşı hemen hiç ilgi duymuyordu. Ancak 1912'de sevgili İsviçre'sine, bu kez bir zamanlar öğrencisi olduğu Zürih Politeknik Okulu'na geri döndüğünde rahatladı.

Einstein Prag'dayken P. Ehrenfest ile, giderek yakınlaşan ve Ehrenfest'in ölümüne dek süren bir arkadaşlık kurmuştu. Paul Ehrenfest (1880-1933), Boltzmann'ın öğrencisi olmuş Avusturyalı bir kuramsal fizikçiydi. Bir Rus fizikçisi Tatiana ile evlenmiş ve *Encyclopedia of Mathematics* için istatistiksel devinbilim üzere ünlü bir makaleyi birlikte kaleme almıştı. Ehrenfest, özgün kuramlar yaratmak yerine, fizikteki bulanık noktaları aydınlatmakta büyük yetenek sahibiydi. Öğretmenlikte üstüne yoktu ve genç yetenekleri arayıp bulmak için hiçbir çabadan kaçınmazdı. Genç insanları yüreklendiren şefkatiyle tanınır ve sıcakkanlılığı yüzünden öğrencileri ve arkadaşlarınca çok sevilirdi. Ne yazık ki, Ehrenfest sıkça bunalıma düşerdi; bunlardan birinde de 1933'de kendini öldürdü.

(Ç.N. 39) Tanrı'nın bilinemeyeceğine inanan bir görüş. Ne var ki, Einstein "Dini ve Sosyal Görüşlerim" adıyla yıllar önce Türkçeye çevrilmiş bir kitapçığında (Yayınevini ve çevirmenini, anımsamadığımdan belirtemiyorum.) Tanrı'nın bilinemeyeceğine değil, tam tersine 'Kozmolojik Din' diye adlandırdığı görüş doğrultusunda bir anlayışa sahip olduğunu belirtmiştir.

Prag'dayken Einstein'a, varlıklı bir aileden gelen bir fizikselkimya öğrencisi katılmıştı. Bu öğrenci, kendisinden ileride söz edeceğim Otto Stern'di (1888-1969). Otto Stern, Einstein'ın geleceğin daha doğrusu, günün fizikçisi olduğunu anlamış ve eğitim ve Einstein'la çalışmak için parasal bağımsızlığından epeyce yararlanmıştı. Bu birliktelik, büyük fizikçilerin kariyerlerindeki çakışmanın bir başka örneğidir.

Bu sırada Einstein, meslekdaşlarınca önemli bir fizikçi sayılmaya başlamıştı. 1909'da Salzburg'daki bir toplantıda Planck, Wien, Sommerfeld, Rubens, Nerst ve başka modern büyük fizikçilerle tanıştı. Yüz yüze sorunları tartışabiliyor olmaktan çok hoşlandı. Bu arada, 1905 fikirlerini daha da geliştirmişti.

Yukarıda söz ettiğim üzere, Einstein, Wien'in $u(\nu,T)$ yasasını benimseyip ışımanın entropisini hesaplayarak ışık paketçikleri düşüncesine ulaşmış ve bu düşünceyi deneysel gerçeklerle bağdaştırmıştı. Işıma entropisi, verilen bir oylumdaki enerji oynamalarına (=fluctuations) sıkı sıkıya bağlıdır ve ışık paketçiği öntezi bu tür oynamalar için çok yalın bir bağıntı verir. Wien'in sadece $h\nu >> kT$ koşulunda geçerli yaklaşık yasası yerine, Planck'ın tam doğru yasasından yararlanarak hesap yapılırsa ne olur? Einsten bu hesabı yeniden yaptı ve ν civarında belirli bir frekans dilimi ve sabit bir oylumdaki enerji oynamaları için, göz alıcı bir bağıntı çıkardı.

Einstein, üzerinde durulması gereken iki terim bulmuştu (Bknz Ekbilgi 5). İlki, 1905'de Wien'in bağıntısından çıkarılmıştı ve tam olarak, bir oylum içindeki gaz moleküllerinin sayısındaki oynamayı veren bağıntıya benziyordu. Işıma enerjisinin tanecikli yapıda olduğunu gösteriyor ve $E = nh\nu$ denklemini doğruluyordu, yani ışık $\varepsilon = h\nu$lik enerji paketçiklerinden oluşmuş gibi davranıyordu. Öte yandan, ikinci bağıntı, dalgaların yapıcı ve yıkıcı girişiminin sonucu olarak tümüyle elektromanyetik kuramdan türetilebiliyordu. Bu iki gerçeğin dikkate değer yan yanalığı, ışığın ikili - dalga ve tanecikli doğasının göstergesiydi. Birbirini karşılıklı dışladığı sanılan Newton ve Huygens'in görüşlerinin her ikisi birden doğrulanmış oluyordu. Einstein'ın 1909'da yazdığı üzere,

> *Işımaya ilişkin, dalga kuramından çok Newtonsu yayınım kuramının bakış açısından daha doğru dürüst anlaşılabilir temel özellikler olduğunu gösteren bir veriler grubunun varlığına karşı konulamaz. Şu halde, kanımca, kuramsal fiziğin gelişme sürecinin gelecek evresi bize ışığın yayınım kuramı ile dalganın bir tür kaynaşması halinde yorumlanabilecek olan yep yeni bir kuram getirecektir...*

Tüm bu gelişmeler oladururken, Einstein 1907'de paketçik düşüncesinin bir başka önemli uygulamasını buldu. 1819'da P. L. Dulong ve A. T. Petit, ölçümlerine göre, "Les atoms de tous les corps simples ont exactement la même capacité pour la chaeur" [Tüm ögelerin atomlarının ısı sığalarının (=capacity) aynı] olduğunu ilan etmiş, Boltzmann da bu gerçeği enerjinin eşbölüşümü (=equipartition) ilkesiyle açıklamıştı. Ne var ki, gelişen hava sıvılaştırması ve öteki dondurucu yöntemler sayesinde, ısı kapasitesinin düşük sıcaklıklardaki ölçümü de mümkün olunca, Dulong Petit yasasına uymayan birçok olgu saptanmıştı. Einstein, atomları kristal içinde belli frekanslı salınıcılar biçiminde ele alarak, ısı ka-

pasitesinin sıcaklığa bağlılının nedenini açığa çıkardı. (Ekbilgi 6.) Paketçik kuramın göre, atomlar sadece, n bir tamsayı olmak üzere $nh\nu$ enerjisine sahip olabilirdi. Eğer $h\nu << kT$ ise, klasik fiziğin kapsamı içindeyiz demektir ve salınıcıların enerjisi $3kT$ olur. Atomik ısı, yani, bir atoma ilişkin özgül ısı, Doulong ve Petit'in bulduğu gibi, $3k$'dır. Yok eğer $kT << h\nu$ ise, paketçiklenme önem kazanmaya başlar ve özgül ısıyı klasikten çok farklı bir değerde elde ederiz. Niceliksel olarak, salınıcılar iyice uyarıldığında, paketçik enerjisinin eklenmesi, salınıcıların sahip olduğu enerjiye kıyasla çok küçük bir farklılık yaratır ki bu da enerjinin süreklice değiştiğini varsayan klasik yaklaşımdan çok uzakta değiliz demektir. Bu durumun ortaya çıkması için salınıcı sıcaklığının $kT >> \nu$ koşulunu sağlaması gereklidir. O zaman da salınıcının enerjisi kT olur, bu değer $h\nu$'lik olası enerji basamaklarına kıyasla çok daha büyüktür. Buna karşın $kT << h\nu$ sınır koşulu geçerliyse, sıcaklık uyarılması salınıcıda paketçik basamaklarını aşmaya yetmez ve bu yüzden çevreden ısı emilemez. Salınıcının davranışını paketçik özellikleri belirler ve özgül ısı ortadan kalkar.

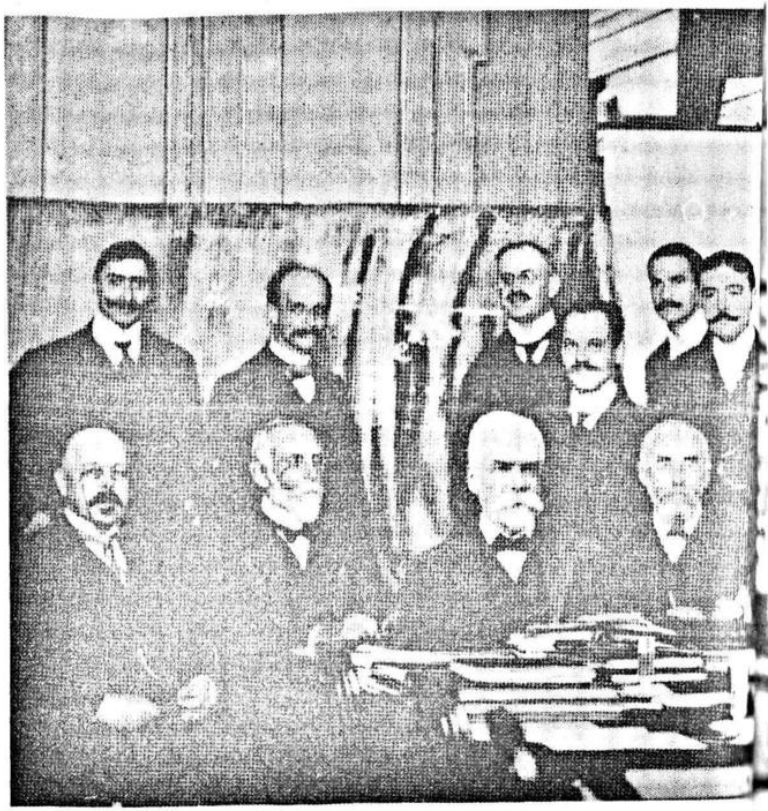
Kuram, Debye ve diğerlerince daha da yetkinleştirilerek deneysel verilerle uyuşması sağlanmıştır.

Bu değerlendirmeler, h sabitinin atom ve moleküllerin mekaniğinde yaşamsal bir rol oynadığını gösterdiği için önemliydi. Bu kavramların başarılı olması, henüz çok kısıtlı bir girişim alanına hapsolmuş paketçik düşüncesinin daha çok dikkat çekmesine yolaçıyordu.

Dünyanın Düzeni Çöküyor ve Uzay Bükülüyor

1911'de ışıma ve paketçikler konulu ilk Solvay Konseyi toplanmıştı. (Resim 5.4) Bu toplantılar adını, endüstriyel yöntemle sodyum karbonat yani soda hazırlamayı bulan mucit Ernest Solvay'den alır. Solvay, konusu önceden belirlenen ve sadece alanın büyük fizikçilerinin çağrıldığı bir dizi uluslararası fizik toplantısı düzenleyip finanse etmiştir. Toplantılar, Brüksel'de düzenlenip, katılım yaklaşık otuz kişiyle sınırlandırılıyordu. İlkinin biçimi ve çağrılıların listesi, ağırlıkla, dönemin önde gelen ısıldinamikçilerinden ve Alman biliminde bir güç odağı olan Berlin'de fizikselkimya profesörü H. Walther Nerst (1864-1941) tarafından düzenlenmişti. Nerst, bazen ısıldinamiğin üçüncü ilkesi diye anılan önemli bir kuram keşfetmişti, buna göre tüm saf nesnelerin mutlak sıfır sıcaklığındaki entropisi hep aynıydı: sıfır. Bu kuramın, paketçik kuramındaki kökleri çok derinlerdeydi. Fizikteki yüksek yeri, edebi ve diplomatik yetenekleri ve genel saygınlığı yüzünden Lorentz bu toplantılara sürekli çağrılır ve sıkça toplantı başkanlığını üstlenirdi. Katılanların sınırlı sayısı ve çağrılı konuşmacıların yüksek nitelikleri canlı ve yararlı tartışmalara yol açardı. Gelenekselleştiği üzere, Belçika soyluları, katılanlara akşam yemeği vererek toplantılara duydukları ilgiyi gösterirlerdi. Bu sayede Einstein Belçika Kıraliçesi Elizabeth ile yakın arkadaşlık kurup yıllarca sürdürmüştü.

1911 yılının toplantısında, Planck her zaman olduğu gibi sağgörülü ve tutucu bir bakış açısı sergilerken, giderek önem kazanmakta olan Einstein daha açık düşünceli davranmıştı.



Resim 5.4 1911'deki Solvay Konseyine katılanlar. Ayaktakiler, soldan sağa: O. Goldshmidt, M. Planck, H. Rubens, A. Sommerfeld, T. Lindemann, M. de Broglie, W. Knudsen, F. Hasenöhrl, H. Hostelet, T. Herzen, J. Jeans, E. Rutherford, H. Kamerlingh Onnes, A. Einstein, P. Langevin. Oturanlar, soldan sağa: W. H. Nerst, M. Brillouin, E. Solvay, H. A. Lorentz, O. Warburg, J. Perrin, W. Wien, M. Curie, H. Poincaré. (Solvay Enstitüsü.)

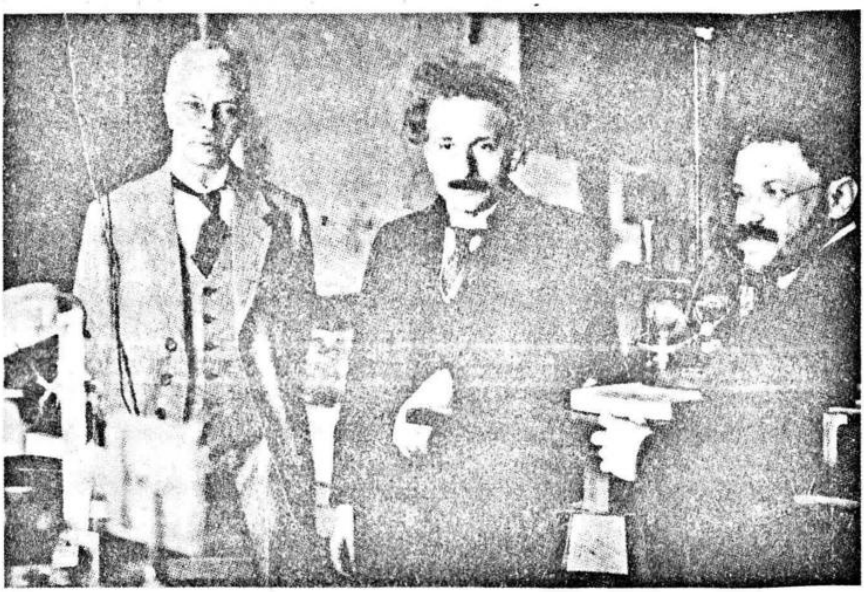
Kısa bir süre sonra, Einstein'a Zürih Politeknik Okulu'ndan üyelik önerisi geldiğinde, bu toplantılardan tanış oldukları Marie Curie ve Poincaré, onun hakkındaki olumlu düşüncelerini tavsiye mektuplarında açıkça belirtmişlerdi.

Einstein Politeknik Okulu'na 1912'de gitti, ama kalışı uzun sürmedi. Berlin'deki büyük fizikçiler Einstein'ın, Reich'ın başkentinde kalmasını istediler ve Kaiser Wilhelm Enstitüsü ya da Prusya Akademisi'nden hangisinde isterse yararlanabileceği çok çekici öneriler düzenlediler. En alt düzeyde ders yükü, araştırmaları için son derece geniş özgürlük, yüksek maaş ve benzeri başka ayrıcalıklar. Nerst ve Planck, hiç yapmadıkları birşey yapıp, önc-

rilerini bizzat sunmak üzere Zürih'e gittiler. Einstein düşünmek için bir günlük süre istedi. Yürüyüşe çıkacağını ve döndüğünde elindeki gülün rengi ile - kırmızı gül kabul ettiğini, beyaz gül de ret ettiği anlamına gelecekti, kararını belli edeceğini söyledi. Kırmızı bir gülle geri döndü. Einstein bir koşul üzerinde ısrar etti: İsviçre vatandaşlığından çıkmamak istiyordu. Einstein kendini İsviçreli, Prusyalılar da onu Prusyalı saydıklarından, bu ısrar bazı güçlüklere yol açtı.

Parlak konumuna karşın, Einstein imparatorluk Almanyası'ndan tedirgindi. Meslekdaşlarının gösterdiği yakınlıktan ve Berlin'in diğer çekiciliklerinden hoşlanıyordu, ama Prusya militarizminden asla. Kışlaların gölgesinden kaçmak için sık sık Hollanda'ya gidip Lorentz ve Ehrenfest gibi arkadaşlarıyla birlikte oluyordu. (Resim 5.5) Almanya döneminin başında, ilk eşinden boşanıp bir kuzeni ile evlendi ve yaşamının sonuna dek bir daha boşanmadı.

1914'ün yazgısal Ağutos'una yaklaşıyoruz. Einstein genel görelilik üzerine öncü araş-



Resim 5.5 Soldan sağa: Zeeman, Einstein ve Ehrenfest 1920 dolaylarında Amsterdam' dayken. Einstein ve Ehrenfest eski arkadaştı ve olasılıkla Einstein'ın Ehrenfest'i ziyaretlerinden birinde Zeeman'ın işliğine gitmişlerdi. (Boerhaave Müzesi, Leiden, Hollanda.)

tırmasıyla, görelilik ilkesinin tüm devinimleri kapsayacak biçimde genelleştirilmesiyle meşguldü. Birbirine göre ivmelenmekte olan iki sistemin aynı olmayacağı açıktır. Birinde içsel kuvvetler ortaya çıkarken, diğerinde böyle kuvvetler bulunmaz. Basit bir örnek, yeryüzüne doğru serbest düşme yapan asansördür: İçindeki bir gözlemciye göre, yerçekimi kaybolur. Oysa dünyaya göre durgun olan aynı asansörde, yerçekimi olacağından bu iki durum aynı değildir. Buna karşın, Einstein'ın belirttiği üzere, uygun yerçekim alanlarını tanımlarken, iki sistemin de aynılığı geri verilebilir. Bunu yapmak için de, $F = ma$ bağıntısında görülen süredurumsal (=inertial) kütle ile $F = kmm'/r^2$ bağıntısında görülen çekimsel (=gravitational) kütlenin aynı olması gerekmektedir. Bu çarpıcı gerçek, çoğu kez, çekimsel kütlenin süredurumsal kütleye eşit olduğu sözleriyle dile getirilir ve Galileo'nun eğik Piza kulesinde yaptığı yarı efsanevi deneyiyle keşfedilip (Ç.N. 40) aynı uzuklukta ama kütleleri farklı sarkaçların eşit periyodları olduğunu dikkatlice kanıtlayan Newton tarafından doğ-

(Ç.N. 40) Aslında G. Galileo söz konusu deneyi bu amaçla değil, Aristo'dan beri süre gelen ağır cisimlerin hafiflerden daha çabuk düşeceğine ilişkin bir yanlış inancı çürütmek amacıyla yapmıştı. Zaten, yerçekim bağıntısını bulan Newton, G. Galileo'nun ölümünden sonra doğmuştur. Ancak, Galileo'nun deneyinin, aynı zamanda söz konusu eşitliği tanıtladığı da çok sonraları anlaşılmıştır.

rulanmıştır. Aynı gerçeği, Baron R. von Eötvös 1891'de Macaristan'da daha büyük bir duyarlılıkla doğrulamış, R. H. Dicke ise 1963'de duyarlılık derecesini (=precision) çok daha ileri götürmüştür.

Özel görelililiğe karşın, genel görelilik fiziğin ön cephesinde yer almamış, bu nedenle de Einstein konuyu araştırmayı tek başına yürütmüştü. Genel kuram, özel görelilik kuramına kıyasla matematiksel açıdan çok daha güçtür ve o zamanlar fizikçilerce pek bilinmeyen "tensör irdelemesi"nin kullanılmasını gerektirir. Öyle ki, arkadaşı Grosmann'ın B. Reimann ve B. Christoffel ve daha önemlisi G. Ricci-Curbastro ve T. Levi,Civita'nın gerekli matematiksel araçları sağlayan çalışmalarından söz edişine dek, Einstein'ın kendisi bile bu zorluklar yüzünden ilerliyemiyordu. Ama artık, Einstein eğrik (=curved) uzayla çalışabilecek ve çekimsel etkileri, sonuçta erk (=enerji) ve özdeğin varlığıyla ilintilendirilen uzayın eğriliğine bağlayabilecekti.

Biraz biraz meraklanıyorum. 1914'de savaşın ilanı, özellikle Almanya'da safça ve kaba bir ulusçuluğun yükselişine de yol açmıştı. Müttefiklerin, Almanya'yı, özellikle tarafsız Belçika'nın işgaline ilişkin, zamanında belki biraz abartılmış suçlamalarını, Alman bilimciler bir bildiriyle yanıtladı. Bildiri, "Est ist nicht wahr ... [Doğru değildir ...] sözleriyle başlıyor ve bilimcilerin orduyla dayanışmasının ilanıyla sona eriyordu. Ne yazık ki, bildirinin altındaki imzalar arasında Röntgen, Planck, Nerst, Wien ve daha pek çok saygın isme raslanıyordu. Bir çok kez yeri geldiğinde, *Geheimrat* [Müsteşar] ya da *Exellenz* [Ekselans] gibi ünvanlarını da adlarına ekliyorlardı, eğretilemeli bir ayrıntı olarak düşünün ki Röntgen gibi biri, başka hiçbir şeyi yokmuşcasına, böylesi resmi ünvanların imzasına ağırlık kazandıracağı sevdasına düşebiliyordu. Ama Almanya böyleydi işte. Aralarında Röntgen de olmak üzere, bir çok imzacının bu davranışında içten oldukları açıktı, hatalarını kavrayınca tutumlarından vazgeçtiler. Planck gibi diğerleri ise, katı Alman ulusçuları olarak kalmalarına karşın, olaylardan ders çıkarıp sonraları Hitler'in uzdilli ulusçuluğunun akıllarını çelmesine olanak tanımadılar. Einstein belgeyi imzalamayı red etmiş, hatta karşıt bir bildiri düzenlemeye girişmiş ama arkasını getirememişti. Politik tutumundan ötürü epeyce düşman kazanmıştı ne de olsa.

Einstein genel göreliliği geliştirme çabaları içinde kaybolmuştu. Bir çok kez ereğine ulaştığını düşünmüş ama sonra kuramında ölümcül çatlaklar olduğunu fark etmişti. En sonunda ise yerçekimine yeni bir anlayış getirerek tüm referans sistemleri için geçerli olacak fiziksel yasaların formüle edilebileceği bir yol bulmayı başardı. Kuramının deneysel sonuçları alçak gönüllü ölçülerde kalsa bile kavramsal yenilik ve incelikleri çarpıcıydı. Büyük kütleli yıldızların ışığındaki tayf çizgilerinde frekans kayması; güneş tutulması sırasında görülebilen ışığın kütle tarafından saptırılma etkisi; Merkür'ün kendi çevresinde döndüğü eksenindeki kaymalar (Ç.N. 41) gibi birkaç küçük deneysel olguyu öngörmüştü.

(Ç.N. 41) Gerçi bu etkinin, Güneş'in tam küresel değil de tıpkı Dünya gibi çok küçük bir oranda bile basık olma olasılığından kaynaklanabileceğini ileri süren hesaplamalar da yapılmıştır.

(Ç.N. 42) Ne var ki, tüm bu etkiler küçük olup gözlenmesi zordur, bu yüzden de bu güne dek hiçbir tartışmaya yer vermeyecek biçimde genel görelilik kuramını destekleyen deneysel doğrulama bulunamamıştır. (Ç.N. 43) Yinede,çekim kuvvetinin uzayın eğriliğinden kaynaklananan geometrik etkiye indirgenmesi, büyüleyici bir kavramdır ve evrenbilim (=cosmology) ile astrofizikte sınırsız öneme sahiptir. İşte, genel göreliliğin, astronomik gözlemlerin betimlenip açıklanmasındaki karşı konulamaz değeri bu noktada odaklanmaktadır.

1917'de Einstein, karacisim yasasının derin kavramlara dayalı yeni ve yalın bir türetmesini içerdiğinden büyük öneme sahip bir başka çalışmasını yayınladı. Işık yayılımı artık Maxwellci bir bakış açısıyla ele alınmıyordu. İstatistiksel yasalar, tıpkı ışımaetkin bozunmaya uygulandığı gibi, ilk kez elektromanyetik olguları kapsayacak biçimde genişletilmişti.

Bohr'un atom kuramı çoktandır biliniyordu, ama ışığın atomdan yayılma düzeneği henüz gizliliğini koruyordu. Einstein, gerçeği örten peçeyi bir ucundan kaldırmayı başardı ve 1917 makalelerinde çok ileriyi görüp modern kuramdaki bir kilometre taşını yerli yerine koydu: Orada, eski fiziğin katı nedenselliğini (=causality) fırlatıp atarak yerine olasılığın öncü kavramlarını yerleştirdi. (Ç.N. 44) Böylece çalışması paketçik devinbilimin ve yolaçacağı derin devrimin ilk tohumlarını içerecekti. Dahası, uygulamalarından açıkça söz etmese bile, günümüzde oldukça sıkça kullanılan lazer ve mazerin temel çalışma ilkelerini de kapsayacaktı.

Burada bir kez daha, Einstein'ın derin düşüncelerinin matematik bağıntılara gerek kalmadan yalın sözcüklerle dile getirilebilir olduğunu görüyoruz. Daha bütünsel bir çerçeve için, Bkn. Ekbilgi 7.

Einsten ısıl dengedeki karacisimi, ışımaya ek olarak özellikle iki enerji düzeyine sahip yalın atomlar biçiminde ele almıştı. Enerjileri E_1 ve E_2 olan bir düzeyden diğerine, frekansı $\nu = (E_1 - E_2) / h$ olan bir ışık paketçiği yayımlayarak ya da soğurarak geçilebiliyordu. Atomların ve ışımanın istatistiksel dengede olduğunu, yani her saniyede düşük enerji düzeyinden yükseğe ya da tersine geçiş yapan atom sayısının aynı olduğu gerçeğinden hareketle, Einstein geçiş olasılığı ile ışımanın yayılımı arasında çarpıcı bağıntılar elde etmişti. Hesaplamasını, uygunca uyarlanmış ışımaetkin bozunmanın ortaya çıktığı modeller üzerine kurmuştu. Bu, eski elektromanyetik yöntemlerden oldukça kökten farklı bir yaklaşımdı. Einstein, atomların ışıma yayılımının $u(\nu,T)$ etkisiyle yüksek enerji düzeyinden bir

---

(Ç.N. 42) Çağımızın önemli düşünürlerinden K. Popper, Einstein kuramlarının bu özelliğinden, yani 'yanlışlanabilir' öngörülerde bulunmasından övgüyle söz ederek "Bir gün yağmur yağacak." türünden yanlışlanması olanaklı olmayan 'bilimsel' öngörülere kıyasla daha anlamlı olduğunu vurgulayacaktır.

(Ç.N. 43) Kitabın yazıldığı 1970li yıllardan bu yana, söz konusu alanlarda önemli gelişmeler sağlanmıştır Bu nedenle, kitabın Türkçe'ye çevirisinin yapıldığı 1994 yılında, genel görelilik kuramının doğruluğundan kuşku duyulmamaktadır.

(Ç.N. 44) Oysa, Einstein daha sonra "God does not dial." [Tanrı zar atmaz.] diyecektir

anda düşüğe geçme oranına A ve düşükten yükseğe geçme oranına da B diyerek, diğer tüm etkilerin yanında bu iki uyarılma oranın birbirine eşit olduğunu göstermişti.

A ve B katsayılarının olasılığa dayalı ve ışığın yayılımıyla bağıntılı olarak önerilişi, tümüyle yeni bir yol ve gelecekteki şeylerin habercisiydi.

1917 makalesinde Einstein, yıllarca önce elde ettiği sonucun yeni bir kanıtını da vermişti, ışık paketçiği hv'lik enerjisinin yanısıra ışık yayılım yönü doğrultusunda $h\upsilon / c$'lik bir momentuma da sahipti. Einstein'ın bu sonuca inceliklı ve dahası derin değerlendirmeler sonunda ulaşmış olması dikkat çekicidir.

Einstein'ın Son Yılları ve Yalnızlığı

Einstein bu araştırmalar içine gömülmüşken, savaş kendi yolunu izleyip 1918'de Almanya'nın bozgunuyla bitti. Kaiser'in eski rejiminin çöküşü Einstein'da hiçbir üzüntü yaratmamıştı. Devrimsel bir dönemden sonra yeni Weimar Cumhuriyeti büyük umutlar ve Almanya'nın demokratikleşmesini getirdi. Yine de, aslında hükümetin epeyce zayıf, içeride ve dışarda temeli sallantılı ve yönetim için gereken güçten yoksun olduğu görünüyordu.

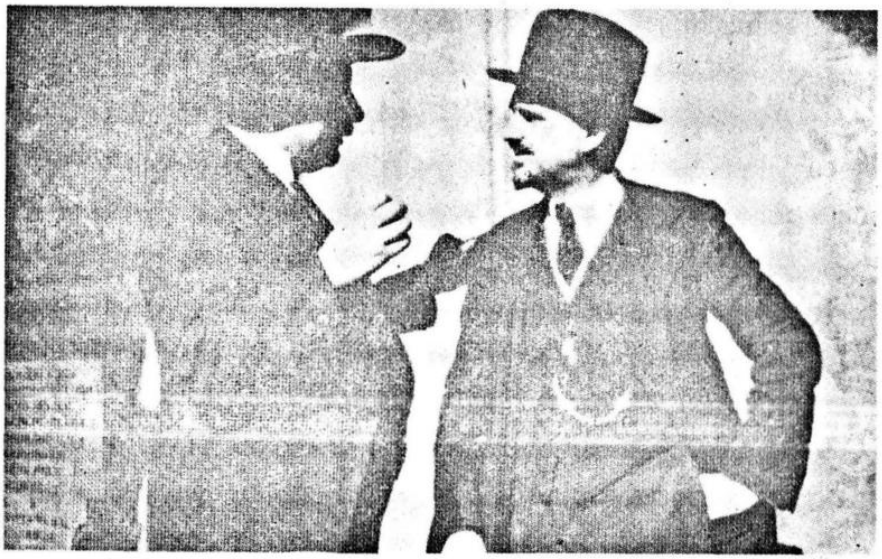
1919'da, genel göreliliğin sonuçlarını sınama olanağı veren tam güneş tutulması meydana gelecekti. Bu amaçla (Ç.N. 45) birçok gezi kurulları düzenlendi ve sonuçlar, kristal açıklığında olmasa da Einstein'ın kuramını destekledi. Bu noktada da Einstein'ın popularitesi patladı. Açıklıkla göremediğim nedenlerden ötürü, Einstein, araştırmaları hakkında hiçbir bilgisi olmayanlar da dahil tüm dünyanın ilgisini üzerine topladı. Ona karşı bir film yıldızı ya da ünlü bir sahne sanatçısıymış gibi davranıyorlardı, ama bu arada haklı nedenleri olmaksızın birçok öfkeli düşman da kazandı. Hatta eskiden ya da halen saygın olan isimlerle karışık demagoglar, deliler ve geleceğin Nazi militanlarından oluşan Einstein karşıtı bilimsel bir dernek bile kurulmuştu. Einstein, görelilik hakkında halk konferansı vermek üzere çağrıldı. Kabul etti ama gerçekleşmesi hasımlarınca engellendi ve olaylar kaba küfürlü politik gösterilere dönüştürüldü. Bunun karşılığında Einstein da sakıncalı davranmadı ve en yakın arkadaşlarının bile onaylanmadığı biçimde basın aracılığı ile tepki gösterdi.

Durum giderek çirkinleşiyordu, özellikle de karşı taraf düşmanlarını öldürmekte tereddüt etmeyeceğinden. Weimar Cumhuriyeti'nin Dış İşleri Bakanı W. Rathenau'nun katli daha neler olabileceğinin uyarısıydı. Rathenau büyük bir ulusçu ve Alman endüstrisinin baş tacıydı, savaş ekonomisinin düzenlenmesinde yorulmak bilmeden ve başarıyla çalışmış sonra da bakan olmuştu. Einstein'ın kişisel dostuydu, K. Liebknecht ve Rosa Luxemborg ve öteki sosyalist önderlerle birlikte öldürülmesi geleceğin Nazi döneminde daha başka neler olabileceğinin göstergesiydi.

Einstein yeterince çok sayıda çağrı alıp uzun bir geziye çıkmak üzereydi. Planck, von

---

(Ç.N. 45) Güneş tutulmasını, Dünya'nın değişik yerlerinden izlemek amacıyla...



Resim 5.6 Einstein, Ekim 1921 tarihindeki bir ziyareti sırasında, Bologna Üniversitesi'nin bahçesinde İtalyan Matematikçi F. Enriques ile bir konu üzerinde söyleşirken.

Laue ve ötekı arkadaşları böylesine zor bir zamanda Almanya'yı serbest bırakmaması ve dışarıdan aldığı sayısız teklifi kabul etmemesi için ısrar ediyorlardı. En çok da Leyden etkiliydi, hem Ehrenfest'le olan ortak arkadaşlıkları hem de oraya gidip görüşmesini Lorentz istediğinden. (Ç.N. 46) Ama, Birleşik Amerika ve başka ülkelerde birçok kişisel ilişkiler kurduktan sonra, Einstein dönüp dolaşıp yolculuğunun sonunda Berlin'e geri dönmüştü. 1924 dolaylarında ortam yumuşamaya yüztumuş, Einsten da oldukça hareketli bir toplumsal yaşantı sürdürmeye başlamıştı. Aralarında ressam Sleevogt, hekim Plesch, kimyacı F. Haber, müzikçi F. Kreisler ve A. Schabel, sanayici ve Dış İşleri Bakanı Graf Rantzau ve ressam H. Liebermann olmak üzere toplumun çok çeşitli kesimlerinden birçok kişiyi evinde ağırlıyordu. (Resim 5.7) Boş zamanlarında da, yaşamı boyunca sürdürdüğü üzere viyola çalıyordu. Büyük bilimci rolünü oynamaktan da hoşlanmazlık yapmıyor, tam tersine adeta zevk alıyordu. Bu da belki, garip giyimi ve şov yapmaya yönelik davranışları gibi bazı yapmacıklıklarına açıklık getirebilir. Bütün bunların yanı sıra Charlie Chaplin'in hayranı ve yakın arkadaşıydı.

Ama bunca etkinlik Einstein'ı o son derece önemli araştırmalarından koparamıyordu. 1922 yılı, Amerikalı fizikçi Arthur Holly Compton'un (1892-1967; Resim 5.8) x-

(Ç.N. 46) Leyden de Hollandalı'ydı ve o tarihlerde oldukça yaşlı bir bilimadamıydı.

Resim 5.7 Ünlü sanatçı Max Liebermann'ın (1847-1935) çizgileriyle Einstein, 1925 Berlin'de. (N.J. Princeton, İleri Araştırmalar Enstitüsü'nün izniyle.)

ışınlarının tıpkı Einstein'ın örgördüğü gibi, $h\nu$ enerjili ve $h\nu / c$ momentumlu parçacıklarmışcasına serbest elektronlar tarafından saptırılabildiğini bulması, paketçik düşüncelerine şaşırtıcı bir doğrulama daha getirdi. Dahası, saptırılan paketçiğin frekansı sapma açısına bağlı olarak değişiyordu. Bütün bunlar dalga kuramıyla açıklanamayan olgulardı. Işığın dalga-parçacık ikililiği, henüz tanınmamış bir Hintli fizikçi olan Satiendranath (S. N.) Bose'ın (1894-1974) Einstein'a kontrol etmesi amacıyla yolladığı ve karacisim bağıntısının istatistiksel devinbilimden türetilmiş yeni bir kanıtını içeren çalışması ile biraz daha aydınlandı.

Bu önmakalesinde Bose, istatistiksel devinbilimin yasalarını kullanılagelenden farklı bir yolla uygulayarak ışık paketçiklerininin istatistiksel hesaplar sırasında nasıl ele alınması gerektiğini göstermişti. Temel ayrım, Boltzmann istatistiğinde her molekülün tek tek belirlenip tanınması olanağı varken, Bose için ışık paketçiklerinin birbirinin tıpatıp aynı oluşundaydı. Boltzmann için, A molekülü ile B molekülünün değiş tokuşu yeni bir sıralama düzeni verdiğinden ayrı ayrı ele alınması gerekirken; Bose için, aynı iki paketçiğin değiş tokuşu yeni bir düzenlemeye yol açmaz. Sonuç, karacisim bağıntısının yeni bir kanıtıdır. Einstein, Bose'un çalışmasını okuyup Almanca'ya çevirdikten ve Bose'un ışık paketçiğini nasıl ele aldığına ilişkin birkaç yorum ve övücü sözcük ekledikten sonra, yayımlanmak üzere bir Alman dergisine gönderdi. Tanıtlamanın tüm moleküller için geçerli olduğunu Einstein gösterecekti. Einstein sözünü tuttu ve 1924'te konu üzerine bir çalışma yayınladı. Böylece yeni bir istatistik doğdu. İki yıl içinde de daha ileri götürülerek, Bose Einstein istatistiğinin yanısıra doğada bir başka tür istatistiğin daha olduğunu gösteren Fermi ve Dirac'ın katkılarıyla tamamlandı. Bu konuyu ileride Fermi'yle bağıntılı olarak tartışacağız.

Resim 5.8 F. Rasseti'nin, 1927 Volta Kongresi'ne katılanların Como Gölü'ne düzenlediği bir gezi sırasında çektiği Arthur Holly Compton'un (1892-1967) fotoğrafı. Compton foton-elektron çarpışması üzerine 1922'de deneysel çalışmalar yapmıştı. (F. Rasetti'nin izniyle)

Beklendiği üzere, Einstein Bose-Einstein gazındaki enerji oynamalarını da hesaplamış ve salt paketçiklerin değil moleküllerin de - bu yeni bir görüştü - ikili doğaya sahip olduğuna ilişkin işaretler bulmuştu. Bu sırada L. de Broglie, aynı alanda büyük bir aşama kaydetti. İleride söz edeceğimiz bu sıçramaya özellikle yeni ve şaşırtıcı düşünceler ileri süren Einstein'ın katkısı çok önemliydi.

Einstein'ın ünü büyüdükçe, daha sık insani ve siyasal çıkışlar yapar olmuştu. İsrail Devleti'nin kurulmasına yönelik olarak açıkça belirgin bir destekçi tutum izlemiş, cumhurbaşkanlığı önerisi alınca da, gerçek sınırlarını ve değerlerini bilerek geri çevirmişti. Herhangi iyi bir nedenin Eistein'ın desteğini kazanabileceği gibi, iyi bildiği herhangi bir fizikçi de Einstein'den tavsiye mektubu alabilirdi. Bu nedenle, başlarda çok büyük bir ağırlık taşısa da, Einstein'ın yazdığı tavsiye mektupları giderek değerini kaybetti.

1927 dolaylarında göreceli olmayan paketçik devinbilimi az çok tamamlanmış ve Kopenhag ruhu diye bilinen yorumlanışının temel çizgileri belirlenmişti. Bohr, Volta'nın yüzüncü doğum yılınının kutlanması için Como'da düzenlenen Uluslararası Fizik Kongresi'ne bir makale sundu. Einstein kongreye, faşist İtalya'yı ziyaret etmemek amacıyla ka-

tılmamıştı. Ama, Bohr aynı düşünceleri, kısa bir süre sonra Solvay Konseyi'nde de yineleyince Einstein'ın itirazlarıyla karşılaştı. Einstein'dan bir çok kez esin almış olan Bohr, ona tapardı, Eistein da Bohr'a yönelik sevgi ve hayranlığını sürekli dile getirirdi. Einstein'ın, Bohr'un en değerli kavramlarını ret etmesi Bohr'u kırmış ve güçlüğe itmişti. Aralarında, Einstein'ın tüm itirazlarını Bohr'un tek tek çözdüğü ama her seferinde yeni bir tanesiyle yüzyüze geldiği, uzun bir tartışma başladı. Paketçik fiziğinin en büyük yaratıcılarından birisi olan Einstein, yaşamının sonuna dek Kopenhag yorumuna kuşkulu kaldı, ama bu görüşünde giderek de yalnız kaldı.

Nazizm'in gelişiyle Einstein mutlak öldürülme tehlikesi altında bulunduğu Almanya'dan ayrılıp, kısa bir dolaşmadan sonra New Jersey'deki (ABD) İleri Fizik Araştırmaları Enstitüsü'ne yerleşti. Dehasının alevi sönmeye yüztutmuştu. Yıllar boyunca herkesten daha ileriyi gören, fiziğin en derin ve en verimli fikirlerini önermiş olan Einstein, kendini, çözümü olmadığı görünen ve olasılıkla da yanlış kurulmuş sorulara adadı. Fiziğin Berne, Zurich ve Berlin'den bu yana süregelen önder ışığı, Princeton'dan öteye gitmedi.

Ne var ki, Einstein hâlâ yazgısal, ama aynı zamanda barışçıl bir insan için de çelişkili sayılabilecek bir rol oynuyordu: Birleşik Devletler'i atom bombası yapmaya zorlamak. Çelişkili dedim ama, konumu ilkelerin İkinci Dünya Savaşı koşullarına uyarlanmasını gerektiriyordu. Gelgelelim bu teknik olduğundan daha çok siyasal bir adımdı; kuşkusuz, Einstein 1940'ların çekirdek fiziğinden anlamazdı ve atom enerjisinin teknik gelişimine de katkı yapmadı. 18 Nisan 1955'de yetmiş altı yaşındayken yaşamı Princeton'da huzur içinde sona erdi.

Şu söz dilinden düşmezdi: "Tanrı armağanlarını dağıtırken amansızdır. Benim payıma bir katırın inatçılığı düştü sadece. Hayır! Keskin koku alan bir de burun."

6

Sir Ernest ve Nelson'lu Lord Rutherford

Planck ve Einstein'ın çalışmalarından söz ederken, kuramsal fiziğin Birinci Dünya Savaşı ve izleyen dönemdeki durumuna değinmiştik. Deneysel fiziği ise Ernest Rutherford'un Kanada'dan ayrılıp Manchester Üniversitesi'nde profesör olmak üzere İngiltere'ye döndüğü 1907 dolaylarında bırakmıştık. Rutherford'un başını çektiği deneysel fizik o yıllardan sonra Birinci Dünya Savaşı'na dek büyük bir hızla ilerlemişti. İşte Rutherford'un deneysel çalışmalarını ve dönemin diğer deneysel buluşlarını bu bölümde ele alacağız.

İngiltere'ye Dönüş

Taşra İngiltere'sinin en iyi üniversitelerinden biri olan Manchester'deki Fizik Bölümü'nde, başarılı bir tayfölçerci olan Sir Arthur Schuster'in (1851-1934) Rutherford'a yer açmak amacıyla emekliliğe ayrılmaya karar vermesiyle bir üyelik boşalmıştı. Alman kökenli olmasına karşın Schuster tümüyle İngilizleşmişti. Kendisine kalan mirasın bir kısmıyla üstün bir işlik donatmıştı. Rutherford'un çalışma alanı, Schuster'inkinden uzak olmasına karşın, Sir Arthur daha iyi bir ardıl bulamayacağını anladığından, Rutherford'u kabul etmeye razı etmek için elinden geleni ardına koymamıştı. Bölüme sürekli bir gelir sağlamakla kalmamış, kuramsal fizik alanında, ileride H. Bateman, G. C. Darwin (ünlü Darwin'in torunu) ve Niels Bohr'un yararlanacağı bir burs da vermeye başlamıştı. Schuster'in yardımcısı da Alman'dı, Hans Geiger (1882-1945), sonraları Rutherford'un gözetiminde yetişecek ve birinci sınıf çekirdek (=nuclear) fizikçisi olacaktı. Geiger, her zaman Rutherford'la yakın bir ilişki sürdürmüş ve memleketi Almanya'ya döndükten sonra da çekirdek fiziği alanında üretken katkılarda bulunmuştu.

Bu ad, ışımaetkin nesnelerle ilgilenmiş ve onun geliştirdiği ışımaetkinliği saptamaya yarayan biraygıt olan Geiger sayacını kullanmış herkese tanıdık gelecektir. Rutherford'un Manchester'da kaldığı süre içinde büyük yardımlarını gördüğü teknisyen W. Kay'i de burada anmalıyız.

Gelgelelim, Manchester'da radyum yoktu, olan da 20 miligramdan azdı. Oysa Rutherford'un radyuma gereksinimi vardı, o da sadece, Avusturya'daki (şimdi Çekoslavakya'da) Joachimstal madenlerinden çıkartılıyordu. (Ç.N. 47) Viyana Bilimler Akademisi, Londra'daki Üniversite Koleji'nde çalışmalarını yürüten Ramsay'a 350 miligram radyum bromit göndermişti. Gerçi bu miktar hem Ramsay'a hem de Rutherford'a yetecek kadardı, ama aralarındaki sürtüşme yüzünden ikisi de var olanı paylaşmak istemiyordu. Neyse ki, Rutherford Viyana Bilimler Akademisi'nden bir 350 miligramı kendisi için borç olarak almayı başardı da sorun çözüldü. Savaşın sonunda İngiliz Hükümeti bu radyuma bir savaş ganimeti olarak el koymak istediyse de, Rutherford onun normal bir emtia imişcesine satın alınıp parasının ödenmesi konusunda ısrar etti. Hukuksal davalarla, savaş sırasında yoksullaşmış Viyana Enstitüsü'ne ve yaralanmış olan yöneticisi Profesör Stefan Meyer'a yardımcı olmayı başardı. Bu yerinde ve yüce gönüllü davranış, Avusturya'lı bilimcileri derinden etkiledi.

Rutherford, Manchester'a yerleştikten ve gerekli radyumu elde ettikten sonra yeniden araştırmalara girişti. Önce, eski araştırma konularını elden geçirdi. Tayfölçüm yöntemleri kullanarak, alfa parçacıklarının iyonlaşmış helyum olduğunun kesin doğrulamasını sağladı. Bu çalışmayı, 1851 sergisinin bir başka bursiyeri (Ç.N. 48) olan T. Royds'un yardımlarıyla gerçekleştirmişti. (Bknz. Resim 6.1)

Alfa Parçacığına Yeni Aydınlatma

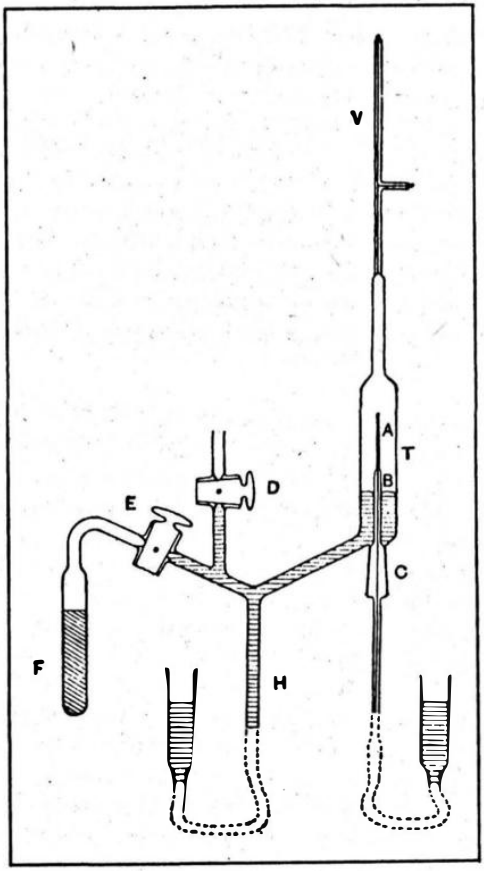
1908'de Rutherford Nobel Ödülü'nü Kimya dalında kazandı. Ödül törenindeki "Işımaetkin Nesnelerden Çıkan Alfa Parçacıklarının Kimyasal Yapısı" başlıklı konuşmasında, tekil alfa parçacıklarını parıldama yöntemiyle saydığını açıkladı. Yani, atomları, alfa parçacıklarının çarpmasıyla ışıldayan çinko sülfürlü bir ekrana biraz zayıf bir mikroskopla bakarak tek tek saymıştı. Saatler boyunca zifiri karanlıkta kalmayı gerektiren böylesine yorucu bir çalışmaya Geiger de etkin olarak katılmıştı.

Okuyucu bu tür parıldamaları görmek istediğinde bütün yapacağı fosforlu bir saatin (Ç.N. 49) kadranına büyüteçle bakmaktan ibarettir. Ama bunun için de gözlemcinin bir süre karanlıkta kalması, ya da gece uykusundan uyanır uyanmaz gözlemi yapması gereklidir.

Ç.N. 47) Joachimstal madeninden 37. sayfada da söz edilmişti.

(Ç.N. 48) Rutherford'un da burs kazandığı bu sergiden 49. sayfada söz edilmişti.

(Ç.N. 49) Ne yazık ki, bu tür fosforlu saatler artık eskisi kadar yaygınca kullanılmıyor.



Resim 6.1 Rutherford ve Royd'un alfa parçacıklarının doğasını tanıtlamakta kullandığı aygıt. A iğnesindeki radondan çıkan alfa parçacıkları T tüpünü düşük basınçlı helyumla doldurur. V yükboşalımı tüpündeki civayla sıkıştırılan helyum, karakteristik ışıma tayfı gösterir. [*Philosophical Magazine* 17, 281 (1900).]

Atomları sayarak Rutherford ve Geiger, Avogadro sayısını, elektronun yükünü ve karacisim ışıması gibi tümüyle farklı deneylerle bulunmuş diğer evrensel sabitleri belirlemişlerdi. Bu farklı yöntemlerle bulunan sayılar birbiriyle çok iyi uyuştu ve bu deneyler atomların gerçekten varlığına hâlâ inanmayan en kuşkucu fizikçileri bile ikna etti, en dik kafalı tutucuları ise devirdi geçti.

Bu deneyler aynı zamanda, elektron yükü ve Rutherford tarafından saptanmış diğer sabitlerin Planck'ın karacisim kuramını kullanarak elde ettiği değerlere çok yakın çıktığı için, İngilizlerin paketçik kuramının üstünlüklerini kavramasına da yardımcı olmuştu.

Sayım sırasında, Rutherford ve Geiger, daha sonraları çok daha geliştirilip yetkinleştirilecek olan dahiyane bir yöntem kullanmışlardı. Çinko sülfürlü ekranda oluşan parıldamalar çıplak gözle kolayca görülemez ve gözlenen sayının gerçekte oluşan parıldamaya oranı, diyelim ki η sayısı, her gözlemci için ayrı ayrı tanımlanabilir. Varsayalım

ki iki gözlemci (Rutherford ve Geiger) aynı ekrana bakmaktadır ve gördüğü her parıldamayı saymak için telgraf aygıtlarında bulunana benzer bir düğmeye basmakta, böylelikle de aynı zamanda gözlem anını işaretlemektedir. Bu durumda üç tür sinyal olabilir: (1) sadece birinci gözlemciden, (2) sadece ikinci gözlemciden, (3) her iki gözlemciden birden.

Bu sayılar şu bağıntılarla gösterilir;

$$n_1 = \eta_1 n \qquad n_2 = \eta_2 n \qquad n_{12} = \eta_1 \eta_2 n$$

η_1 ve η_2 gözlemcilerin randımanı, bilinmeyen n gerçek parıldama sayışı ve n_1, n_2, n_{12} birinci ve ikinci gözlemcilerin ayrı ayrı ve birlikte yaptığı gözlemlerde bulduğu parıldama sayısıdır. Bu durumda $n = n_1 n_2 / n_{12}$ 'dir.

Günümüzde gözle yapılan gözlemler yerini Geiger sayacına ya da elektronik aygıtlara bırakmış olsa da yöntemin özü değişmemiştir.

Rutherford, alfa parçacıklarının özdek içinden geçişi betimleyip açıklayabilmek gibi, atom saymaktan daha alçak gönüllü görünen bir sorunla yüz yüzeydi. Sorunun üzerine birkaç öğrencisiyle birlikte atıldı. 1904 yılı dolaylarında W. H. Bragg, R. D. Kleeman'la birlikte aynı enerjiye sahip alfa parçacıklarının eriminin aynı olduğunu bulmuş, baba oğul Bragg'lar da izlek (=trajectory) üzerindeki iyonlaşmayı araştırmışlardı. Yeni Zelanda'dan, ünlü hemşehrisiyle çalışmak üzere 1909'da gelen Ernest Marsden (1889-1970), büyük bir şans sonucu, alfa parçacıklarının tümünün dosdoğru gitmek yerine bir bölümünün özdek tarafından geri saptırıldığını gözlemişti. Marsden bu gözlemini Rutherford'a anlattığında, hocası emin olmak için deneyi bir kez daha yinelemesini istedi. Bu denli büyük sapmalar Rutherford'u hayrete düşürmüştü. Sonraları söylediği gibi,bu olay bir sayfaya doğru sıkılan bir merminin geri tepmesine benziyordu.

Birkaç hafta geçti. Sonra, 1911'de birgün Rutherford, Marsden'in parçacıklarının niçin geri teptiğini bildiğini açıkladı. Dahası, atomun yapısını da anlamıştı.

Atom Çekirdeği

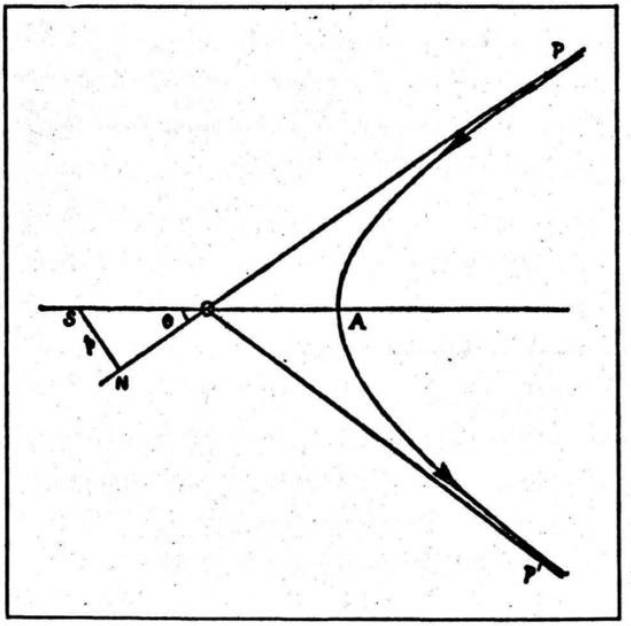
Neler oluyordu? Bu sıralar birçok atom modeli vardı. Lorentz, Zeeman etkisini izah edecek biçimde merkeze esnekçe bağlanmış elektron düşüncesini savunuyordu. Planck'ın salınıcıları ve aralarında J. J. Thomson'un, tıpkı bir kek içindeki üzüm tanelerini andıran elektron ve benzeri daha birçok model vardı. Yine de, İngiltere de yaygınlık kazanmış olan böyle bir model, merkezde elektiriksel alan ortalamasının sıfır olması nedeniyle, oradan geçen bir alfa parçacığını büyük açılarda saptıramazdı. Aynı gerekçe, merkezin uzağından, atom dışından geçen bir elektron için de geçerli olmalıydı.

Aralarında Japon fizikçi H. Nagaoka da bulunmak üzere birçok bilimci, biraz belirsiz ve spekülasyonlara açık olsa da, atomu yapısının gezegenlerin düzenine benzediğini dü-

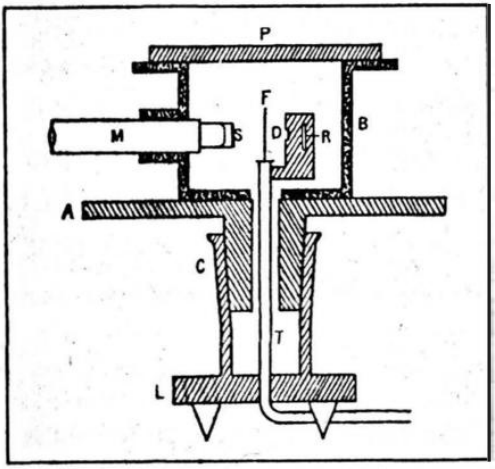
şünmekteydi. Rutherford, kendi kuramı için, geçerliliğini bugün bile koruyan, sağlam bir deneysel temele dayanan atom modeli oluşturmuştu. Günümüzde, atomların klasikten çok paketçik fiziğiyle betimlenmesine karşın, şans eseri Rutherford'un deneylerinin ikisi de aynı sonucu vermektedir. Rutherford, tüm yükün (Ze) ve kütlenin, *çekirdek* (=nucleus) adını verdiği merkezde yoğunlaştığını düşünüyordu. Çekirdeğin çevresinde dönen Z sayıda elektron vardı. (+) yüklü çekirdekle (-) yüklü elektronlar arasındaki elektrik çekim kuvveti atomu bir arada tutuyordu. Rutherford, sistemin dengesiyle ilgilenmediğini açıkça belirtmişti. Bu, ciddi sorunlara yol açan zayıf bir noktaydı. Kütleli noktasal bir yük olarak düşünülen alfa parçacığı çekirdeğe yaklaştığında Coulumb yasası uyarınca geri itilmekte ve Newton'un çok önceleri hesaplamış olduğu gibi, odakların birinde çekirdeğin bulunduğu hiperbol biçimli bir yörünge izlemekteydi (Resim 6.2). Bütün bunları Rutherford, öyle görünüyor ki henüz Yeni Zelanda'da öğrenciyken öğrenmişti. Çekirdekten binlerce kez daha hafif olan elektronlar, alfa parçacıklarının yörüngesini etkilemiyordu. Bu modelden de alfa parçacıklarının ince bir özdeksel yaprağı geçerken olasılıkla sapacağı θ açısının ne olacağı bulunabilirdi.

Daha kesin deyimlerle; kaynaktan $d\omega$ açısıyla görülen bir ekran üzerine düşen alfa parçacıklarının sayısı, demetin kalınlığı t ve birim oylum başına düşen parçacık sayısı da n olmak üzere $nt\, d\sigma / d\omega$ 'a eşit olur. θ sapma açısı, v parçacıkların hızı ve m de kütleleri ise,

$$\frac{d\sigma}{d\omega} = \left(\frac{2Ze^2}{mv^2}\right) \cdot \frac{1}{\mathrm{Sin}^4(\theta/2)}$$



Resim 6.2 Çekirdeğin (P ile P' arası) saptırdığı alfa parçacıklarının yörüngesi. İnce bir metal yapraktan geçerken, alfa parçacıklarının sapması, bu şekle dayalı bir yasayla hesaplanmıştı. Bu da, atomun içinde, sonraları çekirdek diye adlandırılan yüklü bir saptırıcı merkezin varlığını kanıtlamıştı. [Rutherford'un *Philosophical Magazine* 21, 669 (1911)'de yayımlanan makalesinden.]



Resim 6.3 H. Geiger ve E. Marsden'in alfa parçacıklarının sapmasını araştırırken kullandıkları aygıt. R alfa parçacıkları kaynağıdır, B boşluk kabındaki kurşundan bir cep içine konmuştur. İnce bir alfa parçacıkları demeti, önündeki yarıktan geçerek F metal yaprağına çarpar. Metalden geçen alfa parçacıkları da S floresan ekranına çarpar ve M mikroskobu ile gözlenir. Mikroskop, B boşluk kabı ile birlikte TF doğrusu çevresinde döndürülebilir. [*Philosophical Magazine* 25, 604 (1913)'den.)

Çekirdek kütlesi, *m'* ye kıyasla sonsuz alınır. Rutherford, araştırmasını anlatan önmakaleyi Nisan 1911'de *Philosophical Magazin*'e gönderdi.

Geiger ve Marsden, Resim 6.3'deki basit aygıtı kullanarak, alfa parçacıklarının üzerine fırlatıldığı maddeyi yani Z'yi, yaprak kalınlığını, alfa parçacıklarının hızını, ya da gözlem açısı θ 'yı değiştirerek, yukarıdaki bağıntıyı tüm ayrıntılarıyla sınayıp doğrulamıştı.

Hedefteki özdeğin kimyasal karakteristiği olan Z sayısı, atom numarası olarak adlandırılır. Çekirdeğin yükünü, elektronun yükü biriminden ama ters işaretli olarak gösterir: Hidrojen için Z = 1, helyum için Z = 2 ... diye gider. Bu keşif, kimyasal bir ögenin tanımlanma yolunu aydınlatmıştı. Artık, her özdekle yörüngedeki elektron sayısına eşit olan bir Z tamsayısı ilişkilendirilebilirdi. 1869 dolaylarında Mendelev parlak bir sezgiyle periyodik sistemi geliştirmişti ama atomları ağırlıklarına göre yerleştirmişti. Şimdi ise Rutherford'un atom modeli belirleyici olanın ağırlık değil atom numarasının olması gerektiğini söylüyordu. Bu gerçeğe de ilk kez 1913 yılında, Hollandalı amatör bir bilimci olan Antonius van den Broek (1870-1926) dikkat çekmişti.

Gezegensel Atom

Bu noktadan sonra, atomun çekirdeksel birçok özelliğinin neredeyse eşzamanlı kesitlerini ayrıntılarıyla izleyebilmek oldukça zorlaşmaktadır. Konu hakkında bilgilenmek için örneğin Rutherford'un *Philosophical Magazine*'de Şubat 1914'de yayımladığı "Atomun

Yapısı" başlıklı makelesini okumak yararlı olabilir. Rutherford orada, alfa ve beta parçacıklarının saçılmasını ve artı yükün yörelliğini (=localization) (Ç.N. 50) zorunlu kılan sonuçları tartışmıştı. Sonra da alfa parçacıklarının hidrojen içinden geçip bugün proton dediğimiz hidrojen çekirdekleriyle çarpışmasına özel bir önem vermişti. Boyutlar ve çekirdeğin yapısına ayırdığı sonuç bölümünde ise, Bohr'un ışımaetkinlik sırasında çıkan elektronlara çekirdekselli yüklemek için gerekçeler ürettiği ve böylece atomik elektronlardan başka bir de çekirdeksel olanlar varmışcasına bir ayrımın ortaya çıktığını belirtmişti. Çekirdek yükünü göz önüne alarak, Rutherford van den Broek'in önteziyle Soddy yasasını, ışımaetkin yerdeğiştirme ile ilintilendirmişti. Soddy yasası, bir çekirdeğin kimyasının periyodik sistemdeki yerine göre değiştiğini, çekirdeğin alfa ışımasıyla iki adım geriye beta ışımasıyla da bir adım öne gideceğini söylemekteydi. Bu, kuşkusuz, alfa parçacığının Z=2 ve elektronun (=beta parçacığı) -1 olan yükünden kaynaklanıyordu. Çekirdek, alfa parçacığı ışıyarak iki birimlik yük yitiriyor; bir elektron ışıyarak da, bir birimlik yük kazanıyordu.

X-ışınlarının, ilk kez W. Barkla'nın önerdiği gibi yayılıma (=diffusion) dayalı olarak ya da H. G. J. Moseley'in yeni bulduğu çok güçlü bir yöntemle atom numarısını ölçmekte oldukça kullanışlı olduğu da belirtiliyordu. En sonunda ise şöyle bir bölüm yer alıyordu:

> *Bohr, atom kuramının "çekirdek" üzerine kurulmasındaki zorluklara dikkat çekmiş ve elektronların denge içindeki konumlarının klasik mekanikten çıkarsanamadığını (=deduced) göstermiştir. Planck paketçiği ile bağıntılı bir kavram ileri sürerek ve belirli bazı öntezlere dayanarak da artı ve eksi yüklü çekirdek dışında yalın atomlar, yani, birçok yönlerden gerçek atom ve moleküller gibi davranan hidrojen atom ve molekülü ve helyum atomu kurmanın olasılığını göstermiştir. Bohr'un varsayımlarının derin fiziksel anlamları ve geçerliliği üzerine görüş ayrılıkları çoksa da, yalın atom ve moleküller kurmaya yönelik ilk girişim olması nedeniyle tüm fizikçiler için Bohr'un kuramları büyük bir önem ve ilginçliğe sahiptir.*

Anlam karışıklığı yaratmamak için, Bohr'un çalışmaları hakkında daha fazla ayrıntı vermekten bir sonraki bölüme dek kaçınacağım.

Aynı Ama Ayrı: Eşillik Kavramı

Tam bu sıralarda, tuhaf bir biçimde, kimyasal açıdan aynı ama ışımaetkinlik açısından farklı atomların varlığı giderek açıklık kazanmaktaydı. Henüz 1906'da Boltwoold, Yale'de ionyumun toryumdan ayrıştırılamayacağını tanıtlamıştı. 1910'da, W. Marckwald, F Soddy ve O. Hahn aynı özelliğin (Hahn'ın keşfettiği) MsTh ve radyum için de geçerli olduğunu göstermişti, daha sonra da benzer başka örnekler bulunmuştu. 1912'de Rutherford, iş-

(Ç.N. 50) Elektrona göre büyük olduğu bilinen atomun içindeki artı yükün yani çekirdek yükünün atom oylumuna dağılmayıp bir noktada yoğunlaşmasından söz ediliyor.

liğinde ziyaretçi öğrenci (Ç.N. 51) olarak bulunan iki Avusturya-Macar asıllı öğrenci G.de Hevesy ve F.A.Paneth'e, RaD'yi kurşundan ayrıştırma konulu bir tez vermişti. Öğrencilerine şöyle demişti, "Tuzdan anlayan kimyacılarsanız, onları ayrıştırın." (Ç.N. 52) Herşeyi denedikleri iki yıl sonunda bu iki genç adam, başarısızlığa uğramışlardı.

Ama, de Havesy ve Paneth, izci (=tracer) tekniğini bularak, yenilgiyi zafere dönüştürmüştü. Bu teknik, ileride yapay ışımaetkinliğin keşfiyle çok daha zenginleştirilerek belki de modern bilimde ancak mikroskopun önemiyle kıyaslanabilecek kadar güçlü bir teknik haline getirilecektir. Tekniğin çalışması şöyledir: kimyasal açıdan aynı ama ışımaetkinlik açısından farklılık gösteren bazı özdekler verilmiş olsun. En karmaşık kimyasal tepkimelerden sonra bile ışımaetkin atomlar kolaylıkla saptanabilir. Örneğin, normal tuzla karışık ışımaetkin sodyum içeren tuz yenildiğinde, bir damla kan ya da üre içinde yenilen tuzdan ne kadarının bulunduğu, ışımaetkinlik araştırmasıyla açığa çıkarılabilir. Işımaetkinlikleriyle etiketlenmiş atomların farkına varabilme yetisi, başka türlü asla çözülemeyecek olan birçok soruna çözüm olanağı getirmiştir.

Böylece ışımaetkin cisimlerdeki eşillik kavramı yerleşmeye başlamıştı. Adını da 1913 yılında Soddy koymuştu. Periyodik sistemde "aynı yer" anlamına gelmektedir. Eşillik kısa sürede dengeli atomları da kapsayacak biçimde genişletildi. 1912'de J. J. Thomson, eşillik olgusunun ışımaetkin ögelerle sınırlı olmadığının ama birçoğunca paylaşılan genel bir özellik olduğunu bulmuştu. Artı yüklü iyonlar için yükün kütleye oranını, parabol adıyla bilinen yöntemi kullanarak bulmuştu. Bu yöntemde e yüküne ve m kütlesine sahip iyonların dikine sapması birbirine paralel ama iyonların hız yönüne dik yerleştirilmiş bir manyetik alanla bir elektrik alan sayesinde gerçekleştirilir. Eğer E elektrik alanı ve B manyetik alanı x ekseni doğrultusundaysa ve iyonlar da z yönünde hareket ediyorsa, aynı e / m oranına sahip iyonlar, hızlarından bağımsız olarak demetin hız yönüne dik yerleştirilmiş bir düzlemdeki parabol üzerine düşerler. (Bknz. Ekbilgi 8.)

J. J. Thomson bu yöntemi neona uyguladığında, hidrojenin 20 ve 22 katı kütleye sahip iyonlar içerdiğini bulmuştu. Thomson 22 kütleli ionun NeH_2 bileşiğinden kaynaklanabileceğini düşündü ama bu öntez de büyük güçlüklere yolaçtı. 1913'de neonun eşillerine ayrıştırılması kısmen başarıldı. Thomson'un araştırmaları kütle spectrometresi alanını açmıştı. F. W. Aston'un (1877-1945) iyonik kütleleri gitgide daha hassas veren tayfölçerler (Ç.N. 53) geliştirmesiyle de İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra bu alanda çok büyük başarılar sağlandı. Aston'un önemli sonuçlarından biri hidrojen ve lityum dışındaki incelemesi yapılan tüm atomların göreceli ağırlıklarının tamsayılarla değiştiğinin bu-

---

(Ç.N. 51) Kayıtlı olduğu üniversite ile tez araştırmasını yaptığı üniversite farklı olan doktora (Ph. D.) öğrencisi.

(Ç.N.52)Dahaönce de bir çok kez sözü geçtiği üzere radyum, uranyum ve benzeri diğer ışımaetkin özdek türleri, doğada çoğunlukla tuz bileşikleri halinde bulunmaktadır.

(Ç.N. 53) Spectrometer=tayfölçer aslında ışık kökenli bir sözcükse de atomların kütlelerine göre bir saçılma gösterimesi nedeniyle, arada benzerlik kurularak aynı sözcük, atom kütlesi ölçümleri içinde kullanılmıştır.

lunmasıydı. Ölçümlerdeki hata ise, birim olarak O(16)'nın ağırlığının 1/16 sı alındığında binde birden daha küçük tutmaktaydı (Ç.N. 54)

O dönemde, atom çekirdeğinin proton ve elektronlardan oluştuğu varsayılmaktaydı. Protonlar kütleyi veriyor, elektronlar da yükü sağlıyor ve protonun 1/1840'ı ağırlığında oldukları için çekirdek kütlesini pek fazla değiştirmiyorlardı. "Tamsayı kuralı"ndan ayrılmalar ise, serbest parçacıkların kaynaşması sırasında ortaya çıkan Einstein'ın $E = m c^2$ yasasınca öngörülen kütle kaybına bağlanarak yorumlanıyordu. (Bknz. s. 136)

Ama gelin Manchester'a geri dönelim. Rutherford'un kurduğu atom modeli, Bohr tarafından daha da geliştirilmişti. Rutherford o sıralar, devrimsel olmasa da değerli sayılabilecek sonuçlar elde edeceği beta ve gama ışınları üzerinde çalışıyordu. Bu sırada İngiltere Birinci Dünya Savaşı'na girdi ve Manchester işliğinde nüfus epeyce azaldı. Rutherford da, giderek İmparatorluğun savunulması ve Amirallik işlerine daha çok gömülmeye başladı.

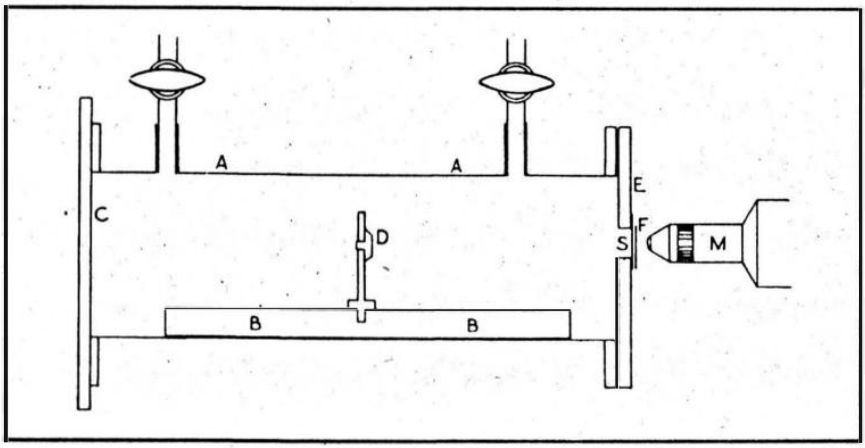
Bu görevleri onu Amerika'ya ve uzun süre kaldığı Wastington'a sürükledi. Tam bu sıralarda Ernest Sir'ü ünvanını aldı. Savaş sırasında, Avusturya'daki Stefan Meyer ve Almanya'daki Geiger ile ilişkisini sürdürebilmesi, göreceli olsa da uygarlığın sürdüğünün işaretiydi. Geiger de, öte yandan, Almanya'da savaş sırasında yakalanıp gözaltına alınmış ve Rutherford'un en iyi öğrencilerinden biri olan Chadwick'in araştırmalarını sürdürmesini sağlamıştı.

Çekirdeğin Bozunumu

1917 dolaylarında Rutherford, teknisyeni Kay ile Manchester İşliği'nde kalmış pek az bilimciden biriydi. Deneylerin yapılması işini yükleyebileceği yetenekli öğrencilerden de yoksundu. Marsden, o sadık Marsden, profesör olup memleketi Yeni Zelanda'ya dönmeden önce, 1915'de ilginç bir olgu gözlemişti, alfa parçacıklarıyla bombardımana tutulan havada beklenmedik ölçüde uzun erimli parçacıklar beliriyordu. Olası bir açıklama, onların hidrojen çekirdeği olabileceği yolundaydı, çünkü hidrojen alfa parçacıklarıyla bombalandığında da böylesi uzun erimli geri tepmeler ortaya çıkabiliyordu. Ama Rutherford bunun olağan dışı büyük önemde başka birşey olduğundan kuşkulanıp, çoğunlukla resmi yükümlülüklerinden zaman buldukça yürüteceği uzun ve sabır gerektiren araştırmaları sırasında, fırlatılan parçacıkların doğasını açığa çıkarmaya karar verdi. Kasım 1917'de yayımladığı bir makalede, bunların N, He, H ya da Li atomları olabileceği olasılığını ortaya koydu.

Haziran 1919'da Rutherford "Alfa Parçacıklarının Hafif Atomlarla Çarpışması" başlıklı makalesini basmaya hazırdı. Çalışma dört bölümden oluşuyordu. İlk üçü yetkin ama az çok sıradan araştırmalardır, ama "Azotta Kuraldışı bir Etki" altbaşlıklı dördüncüsünde şöyle denir:

(Ç.N. 54) Günümüzde birim olarak C(12) atomunun ağırlığının 1/12'si kullanılmaktadır.



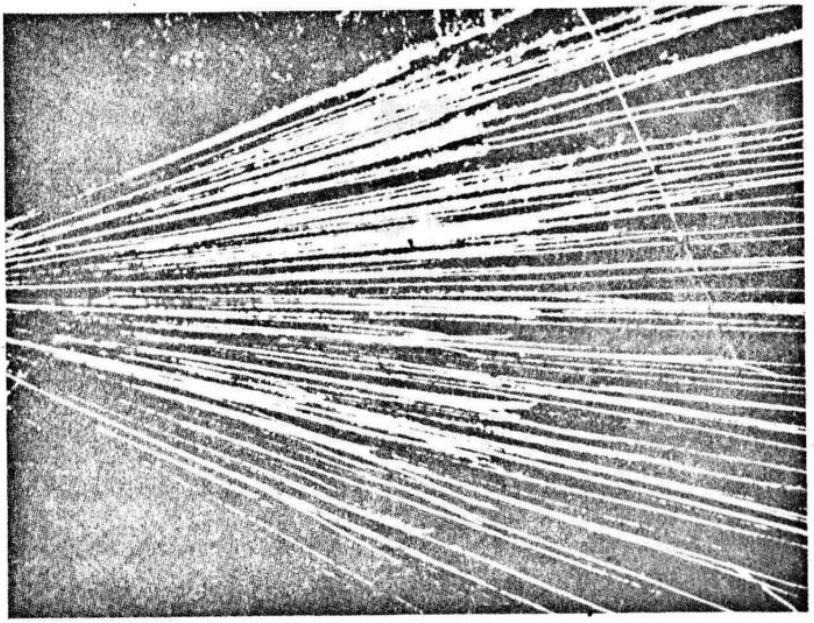
Resim 6.4 Rutherford'un ilk çekirdek bozunumunu gözlemekte kullandığı aygıt. Resim, Rutherford, Chadwick ve Ellis'in birlikte yazdığı *Işımaetkin Nesnelerin Işıması* (Cambridge Üniversitesi Yayınları, 1931) adlı kitaptan alınmıştır. Aslında bu resim kitapta iki kez basılmıştır! Hava geçirmez bir kap gazla (azot) doldurulmuş ve alfa parçacıkları kaynağı D'ye konmuştur. DS uzaklığı alfa parçacıklarının erim uzaklığından büyük olduğu için, F ekranında ışımaya yolaçan parçacıklarının azot gazı çekirdeklerine alfa parçacıklarının çarpmasıyla bozunumu sırasında fırlatıldığı sonucu çıkarılmıştır. Ayrıntılı araştırmalar bu parçaların Proton olduğunu göstermiştir.

*Azot atomunun sert alfa parçacıklarıyla yakın çarpışması sırasında açığa çıkan yeğin kuvvetlerin etkisiyle bozunduğu ve serbest kalan hidrojen atomunun azot çekirdeğinin yapısında yer aldığı sonucunu çıkarabiliriz. ... Tüm bunlar bizi, eğer deney için çok yüksek enerjili α parçacıkları - ya da benzer mermiler - bulunabilirse birçok hafif atomun çekirdek yapısını kırabileceğimiz sonucuna götürür. [*Philosophical Magazine *37, 581 (1919)]*

Bu çekirdeksel bozunmaydı, simyacıların rüyasının modern biçimi. Rutherford keşfini açıklamadan önce olası kontrol deneylerinin tümünü yapmıştı. Sonuçlarından mutlak emin olmak istiyordu, bu da tam üç yılını aldı. Resim 6.4'de Rutherford'un kullandığı aygıt görülmektedir. Rutherford'un aygıtı, modern ivmelendiricilerin (Ç.N. 55) milyonda birine malolmuştu; ama, mikroskopun ardında onun gözlerinin olması, kolayca yeri doldurulamayacak bir gereklilikti.

Rutherford'un deneyleri Viyana'da yinelendi ve Avusturyalı bilimciler, Rutherford'un bulduğundan daha çok bozunma buldu. Böylece ömür boyu sürecek bir çekişme başladı, ama sonunda Rutherford'un haklı olduğu anlaşıldı. Cavendish İşliği'nde, P. M. S. Blackett, Wilsonsis odasıyla, Rutherford'u doğrulayan görüntüleri elde etti. (Resim 6.5)

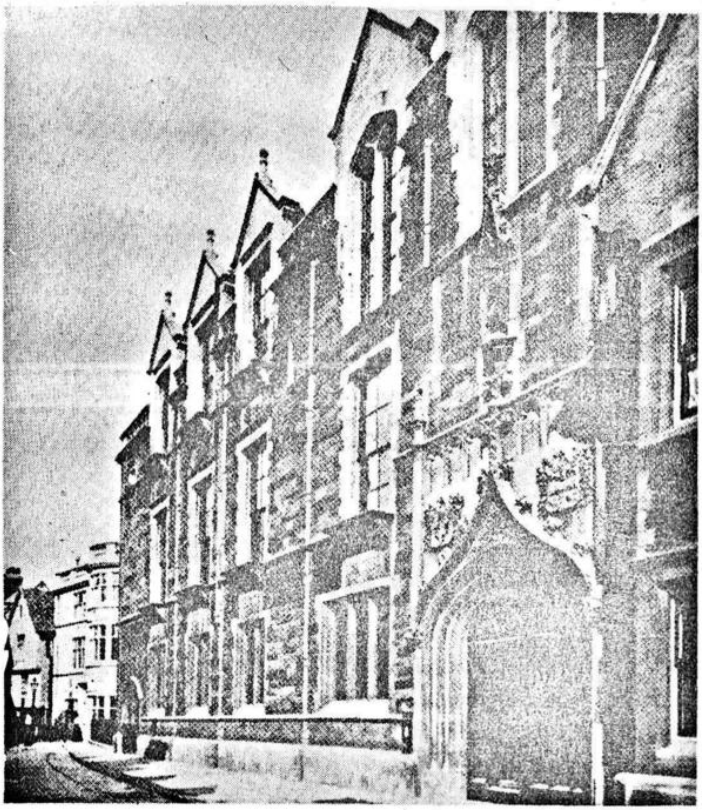
(Ç.N.55) Kitabın yazıldığı 1970'li yıllardaki...



Resim 6.5 Blackett'in gözlediği bir sis odasındaki azot çekirdeğinin bozunması. Kaynak, ışımaetkin dengedeki $Pb^{212} + Bi^{212} + Po^{212}$ içermekte ve erimleri 8,6 ve 4,8 cm olan alfa parçacıkları ışımaktadır. Uzun erimli parçacıklardan biri azot çekirdeğine çarpıp onu şu tepkimeye göre parçalar, ${}_{7}N^{14} + {}_{2}He^{4} = {}_{8}O^{17} + {}_{1}H1$. Uzunca iz protonun, öteki de $_8O_{17}$'nindir. [P. M. S. Blackett ve D. Lea *Proceedings of the Royal Society*, London 136, 325 (1932).]

Cavendish İşliği'nin Yöneticisi

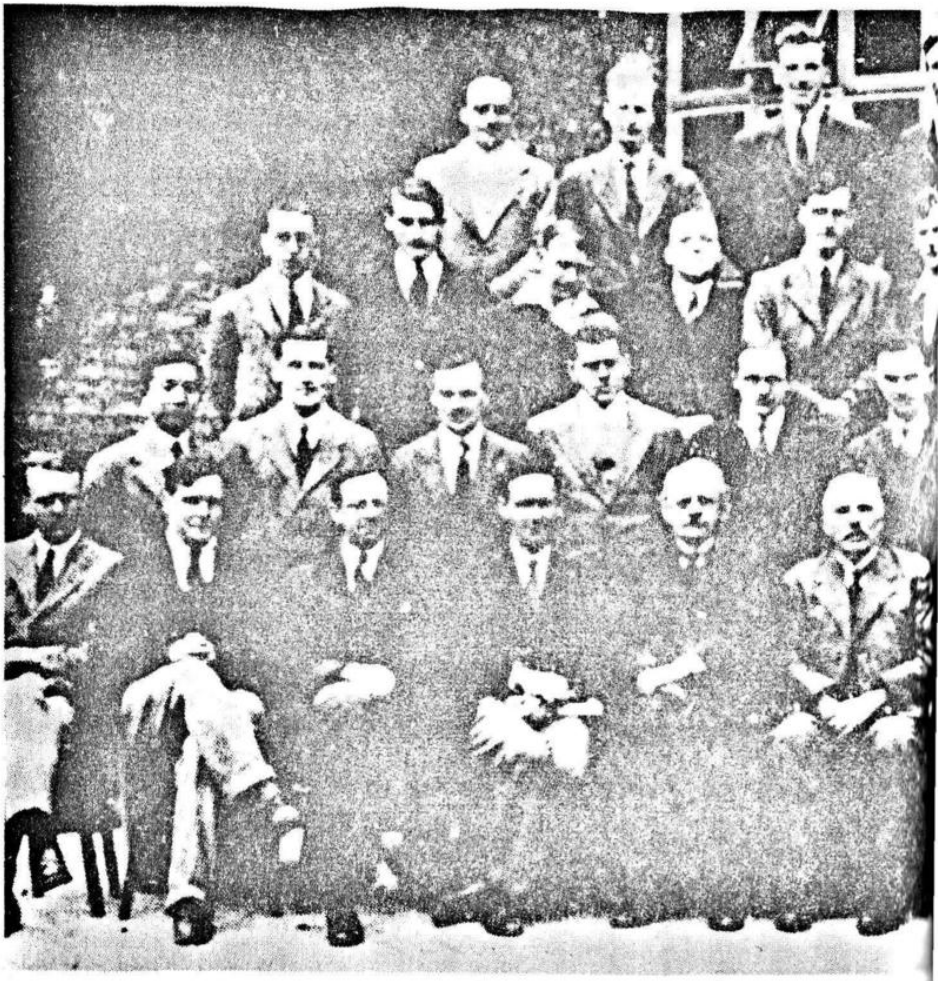
Savaşın sonunda, J. J. Thomson Cavendish İşliği'nden emekliye ayrıldı (Resim 6.6) ve Cambridge'deki Trinity Kolej'in başına geçti. Cavendish Profesörlüğü kadrosu ve işlik yöneticiliği için değerli bir ardıl aranıyordu, ama bu üstesinden kolay gelinecek bir iş değildi. Yeni yöneticinin Maxwell, Rayleigh ve J. J. Thomson gibi çarpıcı isimlere layık olması gerekliydi. Bilimsel büyüklüğüyle Rutherford'un adaylığı apaçık ortadaydı. Yeni yöneticinin eskilerle herhangi olası bir karşılaştırılmasında öz güven sergilemesi de gerekiyordu. Rutherford'un korkusu yoktu, yeterli nedenleri olduğundan alçakgönüllü de değildi. Ama, J. J. Thomson'un işlikte aşırı etki bırakmayacağından emin olmak istiyordu. Tüm açıklığıyla bu endişesini eski hocasına yazdı ve iki yetkin insan bu noktayı temizleyip sonra çıkabilecek anlaşmazlıkları baştan giderdiler.



Resim 6.6 Maxwell zamanından bu yana değişmeden kalan Cambridge Cavendish İşliği'nin ön yüzü. Cavendish İşliği buradan taşınmış ve bina şimdi üniversitenin başka kullanım amaçlarına ayrılmıştır. (Cavendish İşliği, Cambridge Üniversitesi.)

Rutherford 1920'de ikinci kez Baker Dersi vermek üzere davet edildi. İlkinde (1904) olduğu gibi, yaptığı çalışmaları özetledi, bu kez çekirdekli atom modelini formüle edişinden çekirdeğin bozunumuna dek geçen Manchester dönemiyle ilgilendi. Atomu betimlerken, alfa parçacıklarının sapması üzerine yaptığı deneyleri ayrıntılarıyla anlattı ve atom numarasının varlığını açığa çıkaran Barkla ve Moseley'in çalışmalarını kaynak gösterdi. Bohr'un çalışması hakkında hâlâ çok tutucuydu. Sonra da bozunum üzerine yaptığı araştırmaların ayrıntılarına indi. Bu arada kütlesi protonunki (hidrojen çekirdeğine, onun koyduğu addı) kadar olan yüksüz bir parçacığın varlığına ilişkin deneye dayalı düşüncelerini de ortaya koydu. Bu öntezsel parçacığın, elektronu çekirdeği içine düştüğünden yüksüzleşmiş hidrojen atomuna benzeterek ele aldı. Bu değerlendirme, sonraları göreceğimiz üzere, büyük önem kazandı. Kütlesi 2 olan bir hidrojen eşilininin (dötoryum) varolabileceğini de öne sürdü.

Cavendish İşliği'nde Rutherford artık eskisi gibi kendi elleriyle çalışmıyordu. Elli'li yaşlardaydı ve savaştan dönmekte olan genç bir bilimciler kuşağıyla çevrelenmişti. Cambridge'deki temel yükümlülükleri işliği yönetip, J. Chadwick, P. M. S. Blackett, C. D. Ellis, J. D.



Cockcroft, E. T. S. Walton, M. Oliphant, C. E. Wynn-Williams gibi, çekirdek fiziğindeki sorunlar üzerinde çalışan daha birçok yetenekli genç fizikçiyi (Resim 6.7) esinleyip yönlendirmekti.

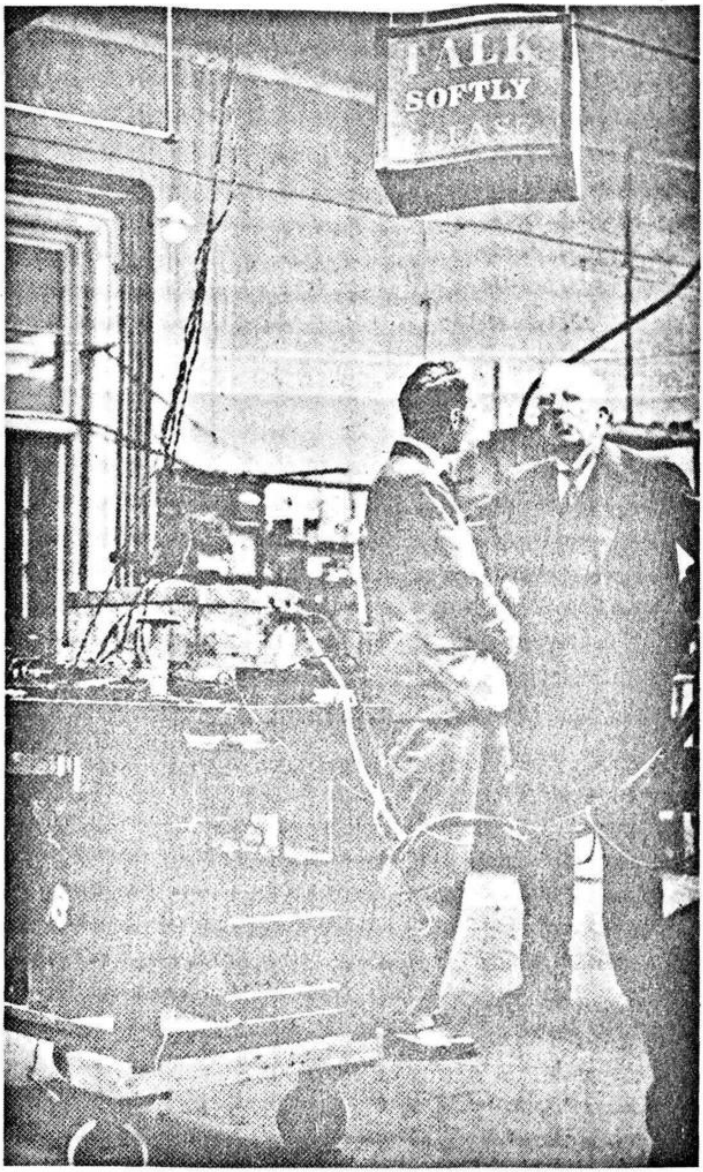
Aynı ya da yakındaki bir binada ise Rutherford'un çevresinde davranmayan başka fizikçiler de vardı. Bunların arasında, kendi işliğini koruyan J. J. Thomson, F. Aston, C. T. R. Wilson ve sonra Rus P. Kapitza anılabilir. Rutherford deneyleri kendisi yapmıyorsa da, işlikte yapılanları izliyor ve zaman zaman da gereksinim doğduğunda işlerin ince ayrıntılarına dek inebilen öğütler veriyordu. Ama tüm bunların üzerinde, işliğin genel yönetimi ve araştırmaların çizgisini kararlaştırıyordu.

1934'de E. Amaldi'yle birlikte bir iki hafta geçirdiğimiz Cavendish İşliği'ndeki atmosferi anımsıyorum. Nötron üzerine Roma'daki çalışmamız, sıcak bir çağrı getirmişti bize. Rut-

Resim 6.7 Haziran 1932'de Cavendish İşliği'nde çalışan araştırmacılardan bir grup. Ön sırada, soldan sağa, J. A. Ratcliffe, P. Kapitza, J. Chadwick, R. Ladenburg, J. J. Thomson, E. Rutherford, C. T. R. Wilson, F. W. Aston, C. D. Ellis, P. M. S. Blackett, J. D. Cockforth. (Cavendish İşliği, Cambridge Üniversitesi.)

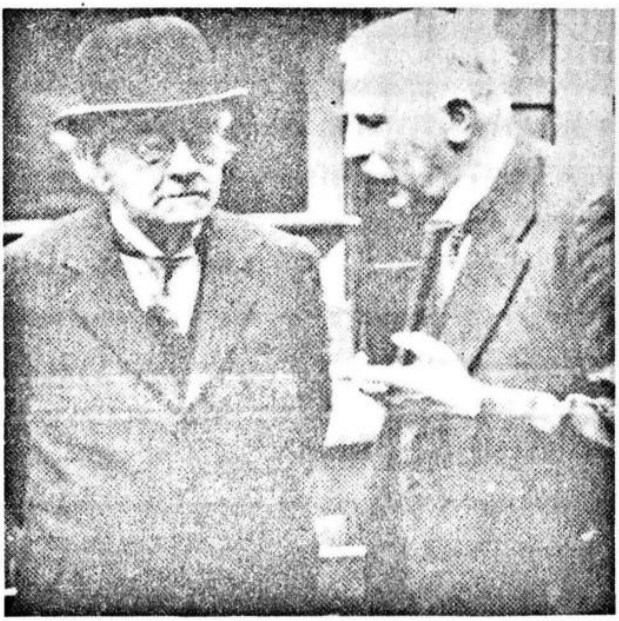
herford, sonuçlarımız üzerinde çeşitli sorular sorarak, canlı bir ilgi göstermişti. Çalışmamızı Royal Society'ye göndermesini rica ettik. Önmakalemizi aldı ve ertesi gün, çoğunlukla İngilizce yanlışlarımızı gidermek amacıyla kendi elyazısıyla yaptığı sayısız düzeltmeyle birlikte geri getirdi. Çabucak basılmasını sağlayıp sağlayamayacağımızı sorduğum zaman da, güldü ve hemen arkasından yanıtladı, "Düşünsenize, ya Royal Society'nin Başkanı ben olsaydım?"

İşliği dolaşmaya gittiğinde, işlik taburelerinden birine oturur, yelek cebinden bir tomar kalem çıkartır ve yürümekte olan deney sonuçlarını kontrol etmeye koyulurdu. Araştırmacılar çağrıldığında yürümekten çok koşarak yanına gelir ve pür dikkat beklerlerdi. Bu davranış, resmi bir disiplinden çok, Rutherford'un uyandırdığı saygıdan kaynaklanırdı. Rut



Resim 6.8 Rutherford ve Ratcliffe, yaklaşık 1932'de Cavendişh İşliği'nin içinde "lütfen Alçak Sesle Konuşun" uyarısı, alfa parçacıklarını araştırmada kullanılan araba üstündeki aygıtı bozabilecek yüksek sesi önleme amacıyla konmuştu.(Eve'nin *Rutherford* adlı kitabından, fotoğraf C.E.Wynn-Williams)

herford'dan gelen bir yorum, iyi ya da kötü, hafife alınmazdı. Başka yerlerde genç bilimcilerin konuşmayı bile neredeyse lütuf saydığı ne ünlü işlik yöneticileri görmüştüm, ama böyle birşey Rutherford'un başına asla gelmedi.



Resim 6.9 Ernest Rutherford (sağda) yaşlılığında, Cavendish İşliği'nin ondan önceki yöneticisi J. J. Thomson'la birlikte. Thomson, Rutherford'dan sonra bir kaç yıl daha fazla yaşadı. (Cavendish İşliği, Cambridge Üniversitesi.)

Resim 6.8'de Rutherford ve J. A. Ratcliffe'in duruşları biraz tuhaf gelebilir, çünkü yanlarında alfa parçacıklarını saptamakta kullandıkları ve sese çok duyarlı olan bir yükseltici (=amplifier) vardır. Düzgünce çalışabilmesi için sessizlik ya da alçak sesle konuşmak gerekliydi ki bu da Rutherford'un özellikleri arasında yoktu.

Rutherford'un kuramsal fiziğe karşı tutumu özgündü. Kendisi kesinlikle bir kuramcı değildi ve kaşla göz arasında kuramlar ve kuramcılarla dalga geçiverirdi. Yine de kuramsal sonuçları yakından ve dikkatlice izleyip onları hep yeğlediği üzere kesin terimlerle ifade ederdi: Bir keresinde, şakacıktan, herkesin bildiği gibi alfa parçacıklarının kırmızı renkli olduğunu bile söylemişti. Rutherford, ona büyük saygı besleyen Bohr'un hamisi de olmuştu, birlikte fizik tartıştıkları kuşkusuzdur ama nasıl iletişim kurdukları bir iki ayrıcalık dışında giz olarak kalmıştır.

Rutherford, onun yakınında bulunma şansına kavuşmuş genç araştırmacı bilimciler için üstün bir öğretmendiyse de, sınıftaki dersleri pek parlak geçmezdi. Tartışmakta olduğu konuyu karmakarışık eder, ya da çabucak ayrılıp en sevdiği konulardan bir başkasına kayıverirdi. Bir kez dersinde, sadeleştirilmesi gereken ama nasıl yapılacağını unuttuğu bir integral işlemiyle karşılaşınca, tüm ciddiyetiyle söz konusu terimin ihmal edilebileceğini çünkü onun bir differansiyel dolayısı ile de çok küçük olduğunu söylemişti. Rutherford'a ilişkin sayısız anektot anlatılır. Bazıları, Kaynakça'da yer verildiği üzere, arkadaşları A. S. Eve ve Mark Oliphant'ın yazdığı kitaplarda bulunabilir. Rutherford'un sıra dışı kişiliğini belirtmeme yarayacak bir kaçını aktaracağım.

Arada bir bilim hakkında heyecanla böbürlenirken, Rutherford kendi döneminin entellektüel canlılıkta Elizabeth dönemi ile kıyaslanabileceğini söylerdi ve modern Shakespeare'ın kim olduğu sorusunun yanıtı da böylelikle açığa çıkmış olurdu.

Ünlü bir filozofla Rutherford, ilgi alanlarının saygınlığı üzerine konuşuyorlardı. Rutherford, felsefenin sıcak havadan başka birşey olmadığını söyledi. Sıcak hava! Buna karşılık olarak filozof, Rutherford'un bir yabani olduğu yanıtı verdi. "Soylu bir yabani, kabul ediyorum, ama yine de bir yabani." Sonra da filozof, III. Napoleon'un Mareşali McMahon hakkındaki bir öyküyü anlatmaya koyuldu. "Mareşal, içinde Zenci bir acemi erin bulunduğu alayı denetliyordu ki, onu cesaretlendirecek birşeyler söylemesi ricasıyla karşılaştı. Zenci erin mangası önüne gelince, Mareşal durdu, acemi ere bakarak, 'Er, sen bir Zencisin!' dedi. Bunun üzerine er, 'Evet efendim!' diye karşılık verdi. Uzun bir suskunluk ve sonrasında Mareşal dedi ki, 'İyi, tek olmaya devam et.' İşte ben de sana aynı şeyi söylüyorum, Rutherford, devam et."

Rutherford'un son çalışma arkadaşlarından biri olan Mark Oliphant, bu öyküyü ilk ivmelendiricilerin birinden söz ederken anlatır, döteryum artı döteryum tepkimesi sonucunda bazı parçacıklar oluşmakta, ama parçacıkların yapısı açıklıkla anlaşılamamaktaydı. Uzun bir iş günü sonunda Oliphant eve uyumaya gitti, ama gecenin ortasında bir telefon sesiyle uyandırıldı. Oliphant'ın eşi açtı, Rutherford'un sesini işitince de biraz irkilerek telefonu kocasına verdi. Lord Rutherford şöyle diyordu, "Parçacıkların ne olduğunu biliyorum, 3 kütleli helyum." Uykulu Oliphant hemen sordu, "Evet efendim, ama helyum 3 olduklarını nereden biliyorsunuz?" Rutherford da şöyle yanıtladı, "Nedenler, nedenler! Bunu kanımda hissediyorum." Oliphant hemen ertesi günü denedi ve Rutherford herzamanki gibi yine haklı çıktı.

Rutherford'un yakın arkadaşı Kapitza'ya bakılırsa, Rutherford'un bu olağanüstü sezgisi, engin bir entellektüel etkinliğe sahip olmasıyla kısmen açıklanabilirdi. Birbiri ardına öntezler formüle eder, gereğine göre onları geliştirir ya da rededer ama enerjisi hiç tükenmezdi. Her zaman çalışırdı, öyle ki en yakın arkadaşları ve iş ortakları bile düşüncelerinin ancak çok küçük bir bölümününü tam olarak bilebilirdi. Onun bir deneyde başarılı sonuçlar aldığını bazen ancak küçük ipuçlarından çıkarırlardı. Onun "sezgisine" ilişkin bu açıklama benim için de doğru görünüyor ve kuşkusuz tüm büyük bilimciler için de geçerlidir.

Rutherford tüm yeryüzündeki ülkelerden en yüksek bilimsel onur payeleri almıştı ve 1925'den 1930'a dek Royal Society'nin Başkanlığını yapmıştı. 1 Ocak 1931'de, lordluk ünvanı verildiğinde, halen Yeni Zelanda'da yaşayan ve doksan yaşlarında olan annesine şöyle bir telgraf çekti, "Artık, Lord Rutherford: benden çok senin onurun, Ernest." Yeni Nelson Baron'unun ceket kolları, Kanada günlerine dek geri giden, yitim ve kazanım eğrilerinin stilize edilmiş biçimini göstermektedir. (Bknz. Resim 3.6b) Politik açıdan Rutherford oldukça tutucu sayılsa da pek etkin değildi. Yine de, Hitler Yahudi soykırımına başladığında, kurbanlara yardım amacıyla İngiltere'de bir Akademik Yardım Konseyi kurulmuş ve başkanlığını Rutherford üstlenmişti.

Yaşamının son altı yılında (Resim 6.9) Rutherford, fizikteki büyük değişiklikleri görmüştü. Belki de onun yapısına uygun gelmiyordu ama, deney çok karmaşıklaşıyor, ivmelendiriciler doğuyor ve kuram artarak soyutlaşıyordu. Kısmen Cavendish işliğinde başlayan çekirdek fiziğinin bu yeni dönemini ileride ele alacağız. Başroldekilerin bazıları Rutherford'un öğrencileridiyse de, birçoğu çok değişik altyapılardan ve çok geniş bilimsel çevrelerden geliyordu.

1937'de, Bolongna'da Galvani'nin anısına düzenlenmiş olan bir toplantı sırasında, Rutherford'un fıtığından ciddi rahatsızlık geçirdiği haberi geldi. 19 Kasım 1937'de de öldü. Ölümü, toplantıda Bohr tarafından duyuruldu, sesi gözyaşlarıyla kesiliyordu. Toplantıya katılanların çoğu, Rutherford'u yalnızca çalışmalarından tanıyorduysa da yüzlerindeki ifade kayıplarının ne denli büyük olduğunu gösteriyordu. Wetminster Abbey'de, Newton'un mezarına yakın bir yerde gömülüdür.

7

Bohr ve Atom Modelleri

Manchester'de Rutherford'un çevresindeki fizikçiler çoğunlukla deneyciydi. Rutherford'un kendisi ise kurama karşı karışık duygular içindeydi: önemini görmezden gelmeyecek kadar bilgeydi, ama İngiliz geleneğini izleyerek, yalın modeller kullanıp sezgisel yolla düşünürdü. Yalın deneysel ve entellektüel yöntemleriyle elde ettiği olağan üstü başarılı sonuçlar belki de bu yaklaşıma duyduğu güveni aşırı pekiştirmişti. Öyle görünüyor ki, Rutherford'un paketçiğe ve modern fizikte devrim yaratmakta öteki yeni düşüncelere ilgisi çok sınırlıydı; kendi devrimini gerçekleştirmekle meşguldü. Rutherford ve Einstein arasında fizik üzerine, en azından Rutherford'un bakış açısından, herhangi bir fikir alışverişinin yapılmış olduğunu düşünebilmek çok güçtür. Ne var ki, gelecek kuramsal devrim, onun Manchester'deki işliğinde başlayacaktı, ısıtan da işlik yaşamına etkinlikle katılan bir ziyaretçiydi: Niels Bohr (1885-1962).

Genç Bohr ve Hidrojen Atomu

Niels Bohr (Resim 7.1) seçkin bir fizyolojist olan Christian Bohr ve eşi varlıklı bir Yahudi bankerin kızı olan Ellen Adler'in çocuğu olarak 7 Kasım 1885'de, Kopenhag'da doğmuştu. Aile Niels ve ileride ünlü bir matematikçi olacak olan erkek kardeşi Harald'ın tam bir akademik ve kültürel eğitimden geçmesi için tüm olanaklarını seferber etmişti. İki çocuk, anneleri ve kızkardeşleri tarafından tutkunca sevilirdi. Bohrlar orta sınıf üstü bir aileydi ve bu ufacık ülkede, dönemin tüm seçkin bireylerince tanınırlardı; özellikle de düşünürler ve tıp adamlarıyla birlikte olurlardı. Niels'in bir harika çocuk olduğuna ilişkin hiçbir kanıt yoktuysa da, bir çocuktan beklenmeyecek kadar gerçeği doğru yansıtan resimler yapardı. Doğru anladıysam, Bohr bir konuşmada bana yazmayı zor öğrendiğinden söz etmişti.

Figure 7.1 Niels Bohr (1885-1962) kendi adıyla anılan atom modelini geliştirdiği sıralarda. (Niels Bohr Enstitüsü.)

Niels ve kardeşi genç yaşlardayken atletizm alanında sivrilmişlerdi. Neredeyse profesyonel düzeyde futbol oynarlardı, Bohr'un altmışıncı doğum gününü hemen izleyen günlerde, Los Alamos yakınlarındaki tepelerde ustaca kaydığını da anımsarım. Lisedeyken, bu iki kardeş, akranlarının düzeyini aşmaya başlamışlardı, öyle ki, 1904'de, Niels ondokuz kardeşi Harald da onyedi yaşındayken, bir sınıf arkadaşları onları dahi diye nitelemişti.

Niels'in fiziğe ilgisi henüz ilk okuldayken, babası tarafından açığa çıkarılmıştı. Kopenhag Üniversitesi'nde bir çalışma alanı seçeceği zaman, fiziği yeğlemiş ve Profesör C. Christiansen'in yanında öğrenime başlamıştı. Danimarka Bilimler Akademisi'nin 1905'de açtığı bir yarışmaya katılabilmek için, sıvı jetler ve yüzey gerilimi konularında çalışmıştı. Deneylerini babasının işliğinde yaptığı kuramsal ve deneysel araştırmalarıyla da ödülü kazandı. Ne var ki, sonraları, giderek kuramda yoğunlaşacaktı. Doktora tezini metallerin elektronik kuramı üzerine yazacak ve hemen arkasından, 1911'de J. J. Thomson'un yanında çalışmak üzere Cavendish İşliği'ne gidecekti. Thomson onu çelebice bir ilgiyle karşıladı ve çalışmalarına ilişkin açıklamalarını dinledi, ama tezini okumak için zaman bulamadı. Bunun, Thomson'un öğrenci sayısı ve kendi araştırma programı göz önüne alındığında, çok da büyük bir sürpriz sayılmayacağı açıktır. Bohr, Cambridge'de Rutherford'la karşılaştı ve öylesine etkilendi ki, Kasım 1911'de ışımaetkinlik ölçümleri üzerine Rutherford'un işliğinde verilen bir deneysel kursu almak üzere Manchester'e gitti. Işımaetkin kaynağın gelmesini beklerken, ilkin, Manchester'da moda olan bir konu üzerinde çalışmaya başladı: alfa parçacıklarının özdek içinden geçişi. Bazı ilginç sonuçlar elde etti ve bu konu ömrünün so-

nuna kadar en sevdiklerinden biri oldu. Ama hemen ardından, yine Rutherford'un araştırmalarıyla bağıntılı daha önemli bir başka alana geçti.

Önceki bölümde gördüğümüz gibi, Rutherford, alfa parçacıklarının özdek içinden geçtiği sırada zaman zaman büyük açılarla sapmasını açıklayan bir atom modeli geliştirmişti. Bu olguyu açıklamak üzere Rutherford "Satürnsel", ya da modern deyimiyle, çekirdekli bir atom modeli kurmuştu. Bohr, elektriksel ve mekanik dengesizliğinden kaynaklanan güçlüklerine karşın bu modeli ciddiye aldı. Çok önceleri Rutherford'un işaret ettiği bu güçlüğün ilginç bazı özellikleri de vardı. Bilindiği ya da varsayıldığı üzere, bir özdeğin tüm atomları aynıdır, ama söz konusu modelde bu aynılığı gösteren hiçbir şey yoktu; özellikle de, atomun yarı çap uzunluğunun bulunmasına yol açacak hiçbir şey yoktu. Dolayısıyla, eğer model kalıcı olacaksa, sabit bir yarıçap ve denge sorununa kökten bir çözüm bulmak gerekliydi. Elektronun yükü ve kütlesi, herhangi bir hesaba dışarıdan girecek sabitlerdi; Yanıt, 1911'in "modern" düşünceleriyle tanışık biri için hiç de muğlak değildi. Etki paketçiği, Planck sabiti işe karışmalıydı. Çeşitli olasılıklar vardı. Atom büyüklüğünün temel sabit olduğu ve etki paketçiğinin bundan çıktığı görüşü, Avusturyalı Fizikçi A. Haas tarafından ileri sürülmüştü. İngiliz gökbilimci J. W. Nicholson, h sabitini atom modellerine, Danimarkalı kimyacı N. Bjerrum da molekül modellerine sokmaya çabalamıştı. Yine de, tüm bu atılımlar muğlak kalmış ya da yanlış yönlere sapmıştır.

Bohr bu düşünceler ve sorunlar üzerine kafa yormaya başladı ve kardeşine yazdığı 19 Haziran 1912 tarihli mektubunda bundan sözetti. Haziran ya da Temmuz'da, Rutherford'la tartışmak üzere bir andaç (=momerandum) hazırladı. Model yüzünden açıkça heyecan duyuyordu, ama hidrojen tayfını da henüz irdelemiş değildi. Zaten tayfın anahtar özelliği (Ç.N. 56) ancak çok sonraları açığa çıkacaktı, o dönemde ise çok karmaşık ve işe yaramaz bir alan olarak görülüyordu. Öğrencisi ve arkadaşı olan Hans Marius Hansen, 1913 yılında, Bohr'a, modelinin tayf hakkında ne öngörebildiğini sordu. Bohr'dan bu konu üzerine herhangi birşey söyleyemeyeceği yanıtı nı alınca da, Balmer bağıntısına bir göz atmasını salık verdi. "Balmer bağıntısına bakar bakmaz herşeyi açıkça anladım." diyecekti Bohr yıllar sonra. Balmer bağıntısı neydi? Johann Jakob Balmer (1825-1898), sayılara ilgi duyan İsveçli bir lise öğretmeniydi, 1885'de hidrojenin tayf çizgilerinde şaşırtıcı bir düzenlilik olduğunu fark etmişti. Bu düzenlilik, n_1 ve n_2 doğal sayılar (=tam ve sıfırdan büyük sayılar) ve $n_1 < n_2$ olmak üzere

$$\nu = R\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right)$$

(Ç.N. 56) Yani, atomun içyapısının anlaşılması açısından önemi..

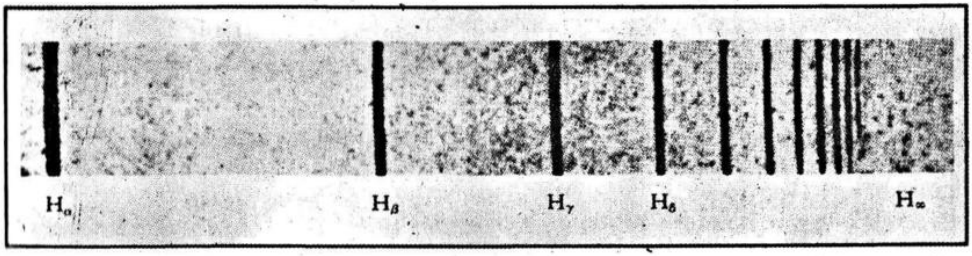
bağıntısı ile gösterilebiliyordu. (Balmer'den daha modern simgeler kullanıyorum; Balmer, frekans yerine dalga boyunu kullanmıştı.) İleride hidrojene ilişkin her türlü kuramın mihenk taşı haline gelecek olan bu bağıntı hidrojenin çizgisel tayfına büyük bir kesinlikle uymaktaydı. Balmer'in zamanında $n_1 = 2$ için olan görünür dizi (Ç. N. 57) bilinmekteydi, Balmer'in düzenliliği keşfettiği dizi de buydu. (Resim 7.2) Sonraları $n_1 = 1$ için olan morötesi dizi T. Lyman, bunu izleyerek kırmızıaltı dizileri $n_1 = 3$ için (Paschen) ve $n_1 = 4$ için (Brackett) de bulunacaktı. Resim 7.3 ve 7.4'de bu düzenlilikler grafikle gösterilmiştir. İsveçli bir tayfölçerci olan Rydberg'ün onuruna onun adıyla anılan R sabiti, şeklin eşelini (=scale) belirlemektedir.

Ters kare yasasına uyan bir kuvvetle sabit bir merkeze doğru çekilen bir noktanın izleyeceği yörüngeler, gezegenler için de geçerli olduğu üzere bir odağında merkezin bulunduğu elipslerdir, ama konuyu yalınlaştırmak için, özel bir durum olarak burada sadece sabit merkezli çembersel yörüngeleri ele alacağız. Böyle bir sistem için herhangi bir yarıçap olasıdır, elverir ki, yörüngedeki hız, merkezin çekiciliğini merkezkaç kuvvetin dengelemesine yetsin. Bu da ancak, yarıçap ile hızın şu bağıntıyı sağladığı durumlarda geçerlidir

$$\frac{m v^2}{r} = \frac{e^2}{r^2}$$

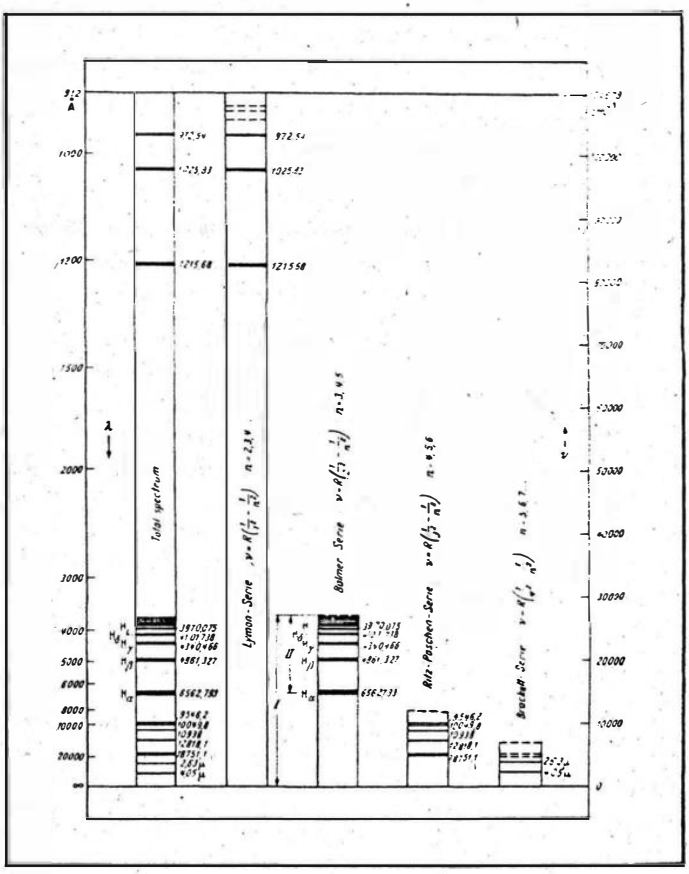
Dolayısıyla her yarıçap olasıdır, yeter ki uygun bir hız seçelim; yarıçapı belirlemek üzere bazı başka koşullar öne sürmeliyiz. Bohr, olası görünen sonsuz sayıdaki yörünge içinden seçim yapmanın ölçütünü gösterdi (Resim 7.5). Bu ayrıcalıklı yörüngelere *durağan konumlar* (=stationary satates) denir. Bohr, ayrıca şu koşulları da öne sürmüştü, kendi sözleriyle:

1. Durağan konumlardaki sistemlerin dinamik dengeleri, bilinen mekaniğin içinde irdelenebilir, ama sistemin farklı durağan konumlar arasında geçiş yapması bu bağlamda değerlendirilemez.



Resim 7.2 Hidrojen tayfı. Çizgilerin frekansı Balmer bağıntısına karşılık gelir. Çizgiler, sınır değeri olan H_∞ 'a doğru sıklaşır, ondan sonra da tayf sürekliliğe dönüşür.

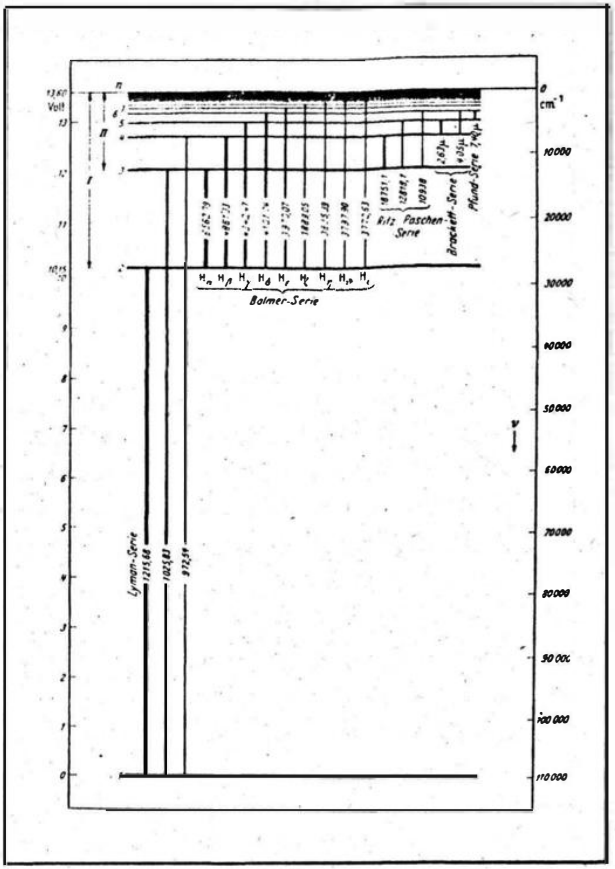
(Ç.N. 57) $n_2 = 3, 4, 5, \ldots$ için karşılık gelen ışık, gözün algılayabileceği sınırlar içinde, yani kırmızı ile mor renkler arasındaydı



Resim 7.3 Hidrojen tayfı. Tayf çizgilerinin frekansı, n_i ve n_j doğalsayılar ve $n_i < n_j$ olmak üzere, $E_i = R / n_i$ ve $E_2 = R / n_j$ için, $\nu = (E_i - E_j) / h$'dır. $n_i = 1, 2, 3, \ldots$ için Lyman, Balmer, Paschen, Brackett, Pfund ve öteki diziler elde edilir. m indirgenmiş (=reduced) kütle olmak üzere $R = 2\pi^2 Z^2 e^2 m / h^3$'dir [Kaynak; W. Grotrian, *Graphische Darstellung der Spektren* (Berlin, 1928).]

2. İkinci süreci bağdaşık (=homogeneous, türdeş) bir ışıma izler. Işınan enerji miktarı ile frekans arasındaki bağıntıyı Planck kuramı verir (yani, $E_1 - E_2 = h\nu$)

Bu iki öntez klasik fizikle çelişir ve bunları ayrı ayrı ya da birlikte öne sürerek, çıkılması olanaksız bir labirente gireriz. Poincaré'nin gözlediği gibi, çelişkili öntezler öne sürerek herşey kanıtlanabilir; bu önerme matematiksel doğruluğa sahiptir. Sadece az bulunur



Resim 7.4 Bohr kuramına göre hidrojen atomunun enerji düzeyleri. Enerji düzeyleri (solda eşellendiği üzere) elektron volt; "frekanslar" (sağda eşellendiği üzere) dalga numarası 1 / λ cinsinden verilmiştir. Gerçek frekans ν = c / λ'dır .[Kaynak; W. Grotrian,*Graphische Darstellung der Spektren* (Berlin, 1828)]

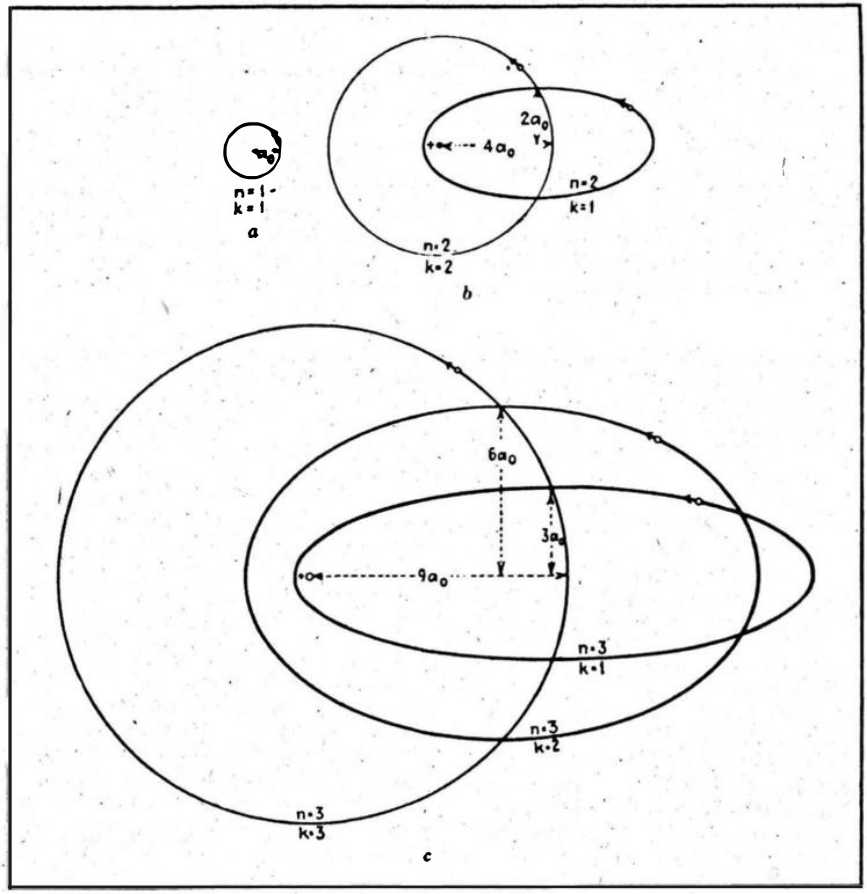
ve esrarlı bir sezgi, Bohr'u bu bulmaca içinde kaybolmaktan kurtarmıştı. Doğanın birçok gizli gerçeğini tahmin etmenin ustası olan Einstein, çok yıllar sonra şunları söylecekti:

> *Bu güvenilmez ve çelişkili temelin Bohr'unki gibi benzersiz içgüdü ve algılamaya sahip bir insanın atomun elektron kabukları ve tayf çizgilerindeki ana yasalarını olduğu kadar, bunların kimyasal önemlerini de keşfetmeye yetmiş olması bana bir mucize gibi görünmüştü ve bugün de bir mucizeymiş gibi görünüyor. Bu, düşün küresindeki en yüksek müziksellik biçimidir. [Schilpp, Albert Einstein, Filozof-Bilimci, s. 46]*

Bohr'un labirentten çıkmak için kullandığı Ariadne'nin (Ç.N. 58) ipi bir zorunluluktur, büyük yörüngeler için klasik kuramla Bohr'un öntezleri aynı sonucu verir. Bohr'un kendi sözleriyle,

---

(Ç.N. 58) Bir masal kahramanı.



Resim 7.5 Bohr ve Sommerfeld'in kuramına göre hidrojen atomundaki elektron yörüngeleri. Uzunluk birimi $a_0 = (h / 2\pi e)^2 (1 / m)$ ilk Bohr yarıçapıdır ve 0,54 x 10^{-8} cm'dir. n toplam paketcik numarasıdır ve yörüngelerin asal ekseni ile enerjilerini belirler. $k \leq n$ için paketçik sayısı yörüngelerin basıklığını verir; $k - 1 = l$ açısal momentumu $h / 2\pi$ biriminde verir.

Şimdi, durağan konumlardaki enerjinin saptanmasında kullanılan koşullarınardışık durağan konumlardaki devinimin birbirine kıyasla küçük farklılıklar göstermeye başladığı sınırda hesaplanan ($E_1 - E_2 = h\nu$) frekansları, sistemin durağan konumlardaki deviniminin ışımasının klasik kuramının beklenen sonuçlarıyla çakışmaya başlayacağını göstereceğiz.

Devrime evet, ama tamir edilemez yıkımlara yolaçmadan. Bu, makroskopik sistemlerden mikroskopiklere nasıl geçileceğini gösteren karşılık gelme (=correspondence) ilkesine ilişkin özel bir sorundur. Bu ilke paketçik devinbiliminin keşfinden önce birçok yoldan formüle edilmiş ve olası her durum için ayrıntılarıyla açıklanmıştı. En çok sezgiyi yönlendirmekte yararlıdır, ama, örneğin ısıldinamiğin ilkeleri kadar sağlamca formüle edilemez. Daha çok, biraz abartmayla betimlenebilir, tıpkı şöyle söylerken olduğu gibi, "Bohr bu yönde ilerlemeye zorunluydu."

Yukarıdaki (1) ve (2) sayılı öntezlerin ışığında, durağan konumların enerji ve yörünge yarıçaplarını ve böylece hidrojenin tayfını hesaplamak hiç de zor değildir (Resimler 7.4, 7.5).

Ekbilgi 9'da, karşılık gelme ilkesine dayanarak Bohr'un yaptığı hesaplamaların temel noktaları verilmiştir. En son aşamada, yörüngesel yarıçapların 1, 4, 9 oranlarında artığı sonucu elde edilmiştir, ya da, daha kesin olarak, yukarıdaki bağıntıda n sıfırdan büyük bir

$$r_n = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 m Z e^2}$$

tamsayı, h Planck sabiti, m ve e elektronun kütlesi ve yükü ve Z ise, Ze işaret değişikliğiyle çekirdek yükünü veren, sıfırdan büyük bir tamsayı yani atom numarasıdır. Durağan konumların enerjileri de şu bağıntıyla belirlenir,

$$E_n = -\frac{Z e^2}{r_n} = -\frac{2\pi^2 Z^2 m e^4}{h^2 n^2}$$

Bu bağıntıda enerjinin sıfır değeri, elektronun çekirdekten çok uzakta olduğu dinginlik konumunda alınır. Enerji düzeylerinden de frekanslar, (2) sayılı kural doğrultusunda hemencecik şu bağıntı elde edilir,

$$\nu_{nm} = \frac{E_n - E_m}{h}$$

$$R = \frac{2\pi^2 Z^2 m e^3}{h^3}$$

Böylece, Balmer bağıntısı da elde edilmiş olur, bağıntıdaki sabit sayı ise, e, m ve h cinsinden şöyle yazılır:

Böylelikle, fiziğin tayfölçüm, ışımaetkinlik ve karacisim kuramı gibi birbirinden çok ayrı konuları arasında köprü kurmuş oluruz. Birbirinden böylesine açıkça uzak olan konular arasındaki birleştirmeler her zaman, doğru yolda olduğumuzun bir işaretidir ve kendi içinde önemli bir sonuçtur. Resim 7.3, 7.4 ve 7.5 tüm bunları grafikle göstermektedir: enerji düzeyleri, çizgisel tayflar, yörüngeler.

Daha 1913'de Bohr, görkemli bir makale üçlüsü yazmaya başlamıştı. İlkinde atom ve molekül kuruluşlarının genel bir açıklamasını vermeyi ummuştu. İkincisi, birkaç özgürlük ölçütü olan sistemlere adanmış olacaktı. Üçüncüsünde ise, birden çok çekirdeği olan sistemler ele alınacaktı. Proje, tümüyle hiçbir zaman gerçekleşmedi ve sadece bir bölümü 1918 yılı dolaylarında gün ışığına çıktı. Ağustos 1918'de Bohr, arkadaşı fizikçi O. W. Richardson'a şunları yazdı, "Neler olup bittiğini ve bilimsel açıdan hayatımın nasıl da başlayıp bastırmadığım makaleler yüzünden aşırı mutluluk ve ümitsizlik, dinçlik ve aşırı yorgunluk dönemlerinden geçtiğini, çünkü yavaş yavaş ama sürekli olarak şu paketçik kuramı denen elek hakkındaki görüşlerimi değiştirdiğimi anladığını biliyorum. ..." [Bohr, *Toplu Eserleri*, cilt 3, s. 14]

Philosophical Magazine dergisinin 5 Nisan 1913 tarihli 26. cildinde basılan Bohr'un ilk atomik makalesi, yüzeysel bir fizik bilgisine sahip olanlarca da kolay okunabilmektedir. Bilgiç okuyucular ise, karşılık gelme ilkesinin kılavuzluğunda, Bohr'un hain sığlıklıklar ve kayalıklar arasından gemisini ustaca yönetmesini takdirle karşılayacaktır. Makalenin sonunda, tam limana gelmişken, çok daha önemli bir saptama ekler: "Mümkün yörüngeler için, açısal momentum $h / 2\nu$ 'nin bir tam katıdır ve bu gerçek, durağan konumları veren paketçikle (n)me ölçütü olarak kullanılabilir."

Bohr'un kuramı, sıradışı gücünü Balmer dizisinin yanısıra başkalarının da olduğunu öngörürken, iyonlaşmış helyumun tayfını öngörürken, sınırlı çekirdek kütlesinin tayf üzerindeki etkisini ve daha birçoğunu öngörürken tanıtlamıştı. Yine de Bohr, kuramının ciddi eksiklikleri olduğunu ve onun sadece tutarlı bir kuram bulunmasından önceki geçici bir aşamayı temsil edebileceğini kavramıştı. Bu karşı çıkılamaz gerçeği de her zaman vurgulamıştı. Ne var ki, bazen yaklaşık değerler olsalar da doğruyu yansıtan kuramsal ve deneysel sonuçlar birikmeye devam ediyordu. Fiziğin temellerine yaslanan ve tayfölçümünün dışında kalan iki örnekten söz edeceğim sadece. Bunlar, ileride ele alacak olduğum Franck-Hertz deneyi ve Stern-Gerlach deneyidir.

Bohr'un kuramı nasıl karşılanmıştı? 'Ex post facto' (=olaylardan sonraki) takdir her zaman güvenilir değildir, ama Bohr'un makalesini Rutherford'un *Philosophical Magazine*'e

gönderdiği gerçeği, içindeki "yabansı fikirlere" karşın, buna değeceğini düşündüğünü gösterir. Bohr, önmakaleyi Danimarka'dan göndermişti, Rutherford da sağ duyusu ile, Bohr'un kuramında bir elektronun hangi yörüngeye zıplamayı istediğini önceden bilmesi gerektiğini ileri sürerek itiraz etmişti. Bir süre bu ciddi güçlüğün üstesinden gelinememişti. Kesin adım ise 1917'de Einstein'ın daha önce gördüğümüz üzere, ışımaetkinlikle aradaki benzerliğe dayanarak ileri sürdüğü olasılık kavramlarıyla atılmıştı. Rutherford makaleyi biraz uzun bulduğundan, kısaltmaya çalıştı. Bunu neden yaptığını da, az çok gerekçeleriyle birlikte Bohr'a yazdı; hiç beklemediği bir tepkiyle karşılaştı: Bohr gemiye atladığı gibi Manchester'a gitti ve Rutherford'un eleştirilerine karşı makalesini, tartışmayı kazanana dek savundu. Bu sahnenin tanığı olmayı çok isterdim. Bohr yumuşak huylu ve Rutherford'a karşı kibar ve saygılı bir kişiydi. Rutherford Bohr'dan yaşlı ve emirler vermeye alışkındı, bilim dünyasında önemli bir yer edinmişti. Rutherford bir mektubunda, böylesine bir dikkatsizliği Bohr'dan hiç beklemediğini belirtmişti.

Bohr'un ilk makalesinden bir bölümünün şu son paragrafı, Rutherford'un eleştirilerinin nedenleri hakkında bir fikir verebilir:

> *Yukarıdaki düşüncelerin önsel ve öntezsel karakterini vurgulamaya gerekolmayabilir. Ne var ki amaç, durağan konumlar kuramının yukarıda çizilen genellemesinin, kullanılagelen ısıldinamikle açıklanamayan birkaç deneysel gerçeği temsil edebilecek kadar basit bir temel sağlayabileceğini göstermek olmuştur ve kullanılan varsayımlar, tutarlı açıklamaları klasik dinamik ve ışığın dalga kuramı tarafından veriler olgular üstündeki deneylerle uyuşmuyor gibi görünmemektedir.*

Üslup yapmacıklı olabilir, ama her sözcük tümüyle düşünülmüş ve dikkatlice tartılarak kullanılmıştır. Söylemeye gerek yok, Rutherford ve Bohr ömür boyu yakın arkadaş olarak kaldılar. Bilimsel üslup ve yaklaşımda çok farklıydılar ama birbirini çok sayar ve severler, birbirini bilimsellikle anlarlardı. Bohr'un şu sözleri, aralarındaki ilişkiye güzel bir armağandır "Çekirdek biliminin kurucusunun anıları ve bazı gelişmeler onun çalışmalarına dayanır."

Sonraki çalışma arkadaşlarının öğreneceği gibi, yazmak Bohr için sancılı bir deneyimdi. Bir makaleye başlar, yazar, yazar, yeniden yazar, on-on beş kez bile yeniden yazdığı olurdu. Her seferinde oradaki buradaki bir ifadeyi değiştirir, bir cümleyi berraklaştırır, ya da bir kavramın tanımını daha da geliştirirdi. Sonunda basılmak üzere, örneğin Danimarka Bilimler Akademisi'ne gönderirdi. Düzeltmeler geri geldiğinde ise, ifadedeki kesinliği arttırmak ya da Bohr'un aklına bazı yeni fikirler gelmiş olduğu için makale neredeyse bir kez daha yenibaştan yazılırdı. Basımcı kendini yer, akademik yetkeler rahatsızlanır, ama tüm bunlar sonuçta hoşgörülürdü, çünkü Bohr Bohr'du. Birkaç aylık gecikmeden sonra, derginin o sayısı Bohr'un makalesi olmaksızın basılırdı; birkaç yıl sonra bile, arkadaşları ve meslekdaşları bu arada çeşitli geçici biçimlerini görmüş ama makalenin üstünde hâlâ çalışılıyor olurdu. Makale nihayet basıldığında ise, açıklığın değil derinliğin bir örneği olurdu. Makalelerin açıklık ve derinliğinin konu edilmesine karşı da Bohr, sayfa 170'deki gibi bazı Alman özdeyişlerini elinde hep hazır bulundururdu. Bu belki de otuz üç yaşındaki

Bohr'dan çok, daha yaşlı bir insana yaraşır özellikti, ama 177. sayfada sözü edilen Richardson'a yazdığı mektup ve Bohr'un arşivleri Bohr'un gerçekten de böyle yazdığına yeterince tanıklık etmektedir.

O ünlü 1913 makalesinin nasıl karşılandığına dönelim. Bu yılın Eylül ayında, İngiliz Birliği'nin Birmingham'da, Rutherford, H. A. Lorentz, O. Lodge, Lord Rayleigh, Jeans ve öteki önemli bilimcilerin katıldığı bir toplantısı vardı. Bohr'un makalesi dikkat çekti ve tartışıldı. Lord Rayleigh düşüncelerini şöyle açıklamıştı, "Makaleye baktım, ama bana hiç yarar sağlamayacağını gördüm. Buluşların bu tür yolla yapılmayabileceğini söylemiyorum. Öyle olabileceklerini de düşünüyorum. Ama bunlar bana göre değil." [Rayleigh, *Lord Rayleigh'in Yaşamı*, s. 357]. Rayleigh yetmiş bir yaşındaydı ve uzun süredir fizikteki yeni buluşlar hakkında konuşmamak için ağzını kapalı tutmaya çalışıyordu. Sözünü tuttu. Ama yeni kuramın başarısı da karşı konulur gibi değildi. Göttingen'de, P. Debye heyacanlanmıştı ve A. Sommerfeld makalenin tarihsel önemde olduğunu L. Brillouin'e açıkça belirtmişti. Öte yandan, Zürih'de O. Stern ve sonradan Bohr'un fikirlerini geliştirmek için çok çaba harcayacak olan M. v. Laue, makaleyi incelemişlerdi ve şans eseri doğruluğu açığa çıkacak olursa fiziği bırakacaklardı. İleride Bohr'un Manchester'deki en yakın arkadaşı olacak olan George Hevesy, Einstein'ı ziyarete gitti ve Bohr'un çalışmasını anlattı. Einstein hemen heyecanlandı; benzer şeyleri bir zamanlar kendisinin de düşündüğünü ama sürdürmeğe değer bulmadığını söyledi. Duyduklarının sevinciyle Hevesy Einstein'ın söylediklerini Bohr'a ve Rutherford'a mektupla bildirmeye koştu.

Bohr'un atomu I. Dünya Şavaşı'nı sadece bir kaç ayla öncelemişti. Danimarka tarafsız kalmayı başarmıştı, ama Bohr Müttefik Güçlerin davasına sempatiyle bakıyordu. Kopenhag'da küçük ve epeyce mutsuz olduğu bir işi vardı. 1916'da Rutherford'un Manchester'daki işliğinde görev aldı ve 1919'da kuramsal fizik profesörlüğü teklifiyle Danimarka'ya geri çağrılana dek orada kaldı. Bohr, deneysel fizikle her zaman yakın temasta kalmış ve kendisine bağlı bir işlik sahibi olmak için çabalamıştı. Savaştan sonra bunu başardı ve Kopenhag'da yeni bir enstitü kuruldu. Başlangıçta, Bohr enstitüde kalıyordu. Sonra, 1932'de Bohr'lar, ünlü Carlberg Bira Fabrikaları'nın kurucusu J. C. Jacobsen'in yaptırdığı "Şeref Evi"nde oturacak ilk aile olma daveti aldılar.

Bu ev şimdi, Danimarka'nın bilim ya da sanat alanındaki en büyük evlatlarının oturduğu yarı resmi bir malikanedir. Kurucusunun bakım için parasal kaynak bıraktığı, prenslere layık bir evdir. Bira fabrikalarının yakınında 'neoklasik' tarzda inşa edilmişse de Danimarka iklimine uyarlanmıştır; bir de güzel bir bahçesi vardır. Bayan Bohr son derece ince bir evsahib(es)iydi, aralarında Rutherford gibi bir çok bilimci, bir çok başbakan ve kraliyet ailesinden şahsiyetler de olmak üzere önemli bir çok kişiyi davet edip bu evde ağırlamıştı. Kopenhag'da ziyaretçi ya da çalışmak üzere bulanan bir avuç parlak genç fizikçiye de kapıları açıktı.

Bohr'un ünü çabucak yayıldı ve kısa sürede dünyanın her köşesinden ders vermek üzere çağrılar almaya başladı. 1920'de Almanya'ya gitti ve Planck, Einstein ve öteki büyük Alman kuramcılarıyla tanıştı. Hollanda'da H. A. Lorentz ve kısa sürede yakın dostluk kurduğu

Paul Ehrenfest'le tanıştı. Einstein da Bohr'dan hoşlanmıştı; Berlin'i ziyaretinden hemen sonra Bohr'a şunları yazdı, "Sizin gibi, salt kendi varlığıyla beni hoşnut etmiş bir kişiye hayatım boyunca nadiren rasladım. Şu sıralar, sizin büyük makalelerinizi çalışıyorum - ve başımın sıkıştığı her yerde de - sizin gülümseyen ve izah eden genç yüzünüzü gözlerimin önünde görmenin zevkini yaşıyorum..." [Bohr, *Toplu Eserleri*, cilt 3, sayfalar 22, 634].

Bohr ve Kopenhag'daki enstitüsü, savaşın sonuçlarının dayattığı soylu ve gerekli bir işlevi de yerine getirmişti. Savaş nefret, öç ve kan davası gütmek gibi bazı çocukça ama tehlikeli arzuları ardında miras bırakmıştı. Bu duygular bazı bilimcilere dek uzanmıştı. Müttefikler tarafındakiler Alman meslekdaşlarını uluslararası bilim yaşamından çıkarmak istiyor; öte yandan Almanlar da haksız yere, kurban edilmişler gibi davranıyordu. Bu tür davranışlar araştırmalarıyla meşgul gençlerden çok yaşlı ve çoğunluk pasifleşmiş bilimcilerden oluşan resmi bilim dünyasında yaygındı. Bohr, aşırılıkla mücadele etmeye ve bölünmüş gruplar arasında iyi ilişkileri yeniden kurmaya çalışıyordu. Kişiliği ve tarafsız bir ülke vatandaşı olması, ona bu girişiminde yardımcı oluyordu.

Bohr'un bilimsel etkinliği özgün bir biçime bürünmüştü. Çalışma alışkanlığı, çoğunluk yüksek sesle düşünme ve bir dinleyiciye gerek duyduğu bitmez tükenmez tartışmalardan oluşuyordu. Bu, bir tür, fikirlerini konuşurken ürettiği Sokratcıl bir yöntemdi. Bohr'un ilk yardımcısı Hollandalı H. A. Kramers'di. Ardından, ileride ünlenecek daha başkaları da gelecekti. Kopenhag'da uzun süre kalanlar arasında İngiliz P. A. Dirac ve N. F. Mott; Alman W. Heisenberg; Avusturyalı W. Pauli; Rus G. Gamow ve L. D. Landau; Amerikalı J. C. Slater, H. Urey ve J. R. Oppenheimer; Japon Y. Nishina; ve İskandinavyalı O. Klein ve S. Rosseland da vardı. Dirac, Bohr'la aralarındaki ilişkiye ilişkin olarak şunları yazmıştı.

> *Sıkça, yüksek sesli düşünürkenki dinleyicisi olurdum. Bohr'u çok takdir ederdim. Tanıdığım en derin düşünürmüş gibi gelirdi. Düşüncelerinin,çoğunca felsefi olduğunu söylemeliyim. Onları anlamaya çabalaıdıysam da,tam olarak anlayamamışımdır. Benim kendi düşünüş yolum, eşitlikler biçiminde ifade edilebilecek olanlara ağırlık vermekti, Bohr'un düşünceleri ise daha çok genel özellikte ve matematikten epeyce ayrıydı. Ama yine de Bohr'la bu yakın ilişkiden memnundum, daha önce de bir kez sözünü ettiğim üzere, Bohr'un bu düşüncelerini dinlememin kendi çalışmalarımı ne ölçüde etkilediğinden emin değilim. [Dirac,* Proc. of the Intl. School of Physics, *Enrico Fermi", vol. 57, s. 134]*

Özgün yazış biçimi yüzünden, Bohr'un kendisi fazla yayın yapmamıştı; yine de, her etkinliğin merkezindeydi. Üstelik sıkça, fikirlerini Avrupa ve Birleşik Devletler'deki çeşitli merkezlerde anlatmak üzere davetler alır ve seyahatlere çıkardı.

Bohr, modellemeye dayalı 1924'ten önceki paketçik devinbilim hakkında, Amold Sommerfeld gibi diğer önemli fizikçilerden daha çekingen ve daha eleştireldi. Süregelmekte olan çelişkileri vurgulayıp, kuramı katı temeller üzerine kurma gerekliliğinde ısrar ederdi.

Bohr, Kopenhag'daki enstitüsünde aylık küçük bir özel toplantılar dizisi de başlatmıştı.

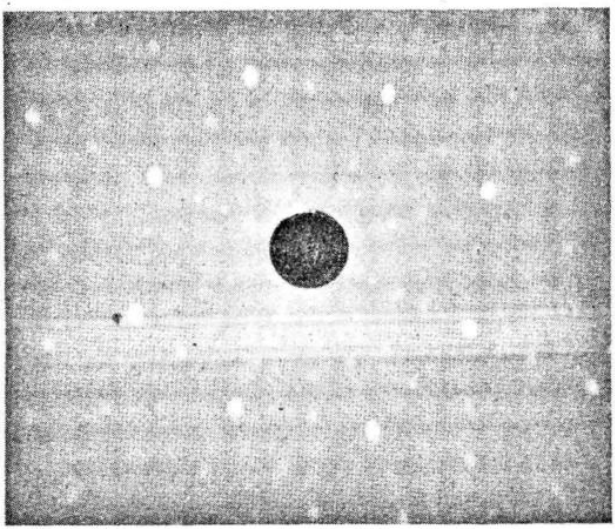
Resim 7.6 Bohr'un 1937'de Kopenhag'da düzenlediği toplantıya katılanlar. Ön sırada, soldan sağa: N. Bohr, W. Heisenberg, W. Pauli, O Stern, L. Meitner, R. Ladenburg,J. C. Jacobsen. İkinci sıra, soldan başlayarak: V. Weisskopff, C. Moller, H. Euler, R. Peierls, F. Hund, M. Goldhaber, W. Heitler, E. Segré. ... Üçüncü sıra, soldan başlayarak: G. Placzek, C. von Weizsacker, H. Kopfermann. ... Ayaktakiler, H. D. Jensen, L. Rosenfeld, G. C. Wick. (E. Segré'nin koleksiyonu.)

Aralarında Heisenberg, Pauli ve Stern gibi hemen her toplantıya katılan bazı ünlüler de olmak üzere yaklaşık 30 fizikçiyi davet etmişti. Ayrıca, her ülkeden genç ve etkin bilimciler de çağırmıştı. Gelecek için umut veren genç fizikçilerin böyle toplantılarda biraraya gelmesi, hem birbirleri hem de Kopenhag'la tanışmaları için büyük bir fırsattı. Toplantılar çoğunlukla, genç kuşağın fizikçileri arasında uzun süren arkadaşlıklar kurulmasına hizmet ederdi. 1920 ile İkinci Dünya Savaşı arasında parlak olup da, bu toplantıların bir ya da ikisinde unutulmaz deneyimler yaşamamış çok az önemli fizikçi vardır. (Resim 7.6).

X-ışınlarının Kökeni

Fiziğin temel temaları Birinci Dünya Savaşı'ndan kısa bir süre önce Planck, Einstein, Rutherford ve Bohr tarafından seslendirilmişti, ama onlara eşlik eden ve müziği yükselten bir orkestrasyonun varlığını da unutmamalıyız.

Bir yüzyıldan uzun süredir kristal yapısının atomların düzenli birikiminden kaynaklandığı düşünülmekteydi. R. J. Haüy (1743-1822) bu varsayımsal atomik düzenlerinin



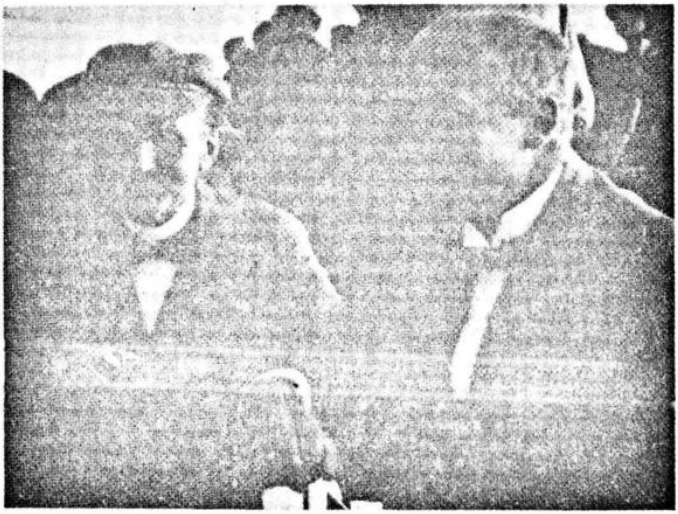
Resim 7.7 Tungsten tekkristallinin kırınım fotoğrafı. Von Laue, Fredrich ve Knipping yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. (Bologna, CNR-LAMEL İşliği'nin izniye.)

çok güzel fotoğraflarını çekmişti. Böylesi kristal düzenlerine günümüzde uzay örgüleri denmektedir ve atomların tümünün örneğin tamsayılı koordinat noktalarına sahip olduklarını hayal etmemiz gerekmektedir. Kristallografinin birçok yasası böyle varsayımsal yapılar kurarak doğrulanabilir, ama bunlar ancak 1912'de gerçekten görülebilmiş ve tanıtlanabilmiştir.

Münih'deki Sommerfeld Enstitüsü'nde P. Ewald, doktara tezi için, elektromanyetik dalgaların uzay örgüsünde yayılışını araştırmaktaydı. O zaman, 1911 dolaylarında, x-ışını düşüncesi henüz gelişmekte ve yaygınlaşmaktaydı. X-ışınlarının, tıpkı ışık gibi kısa dalgalı titreşimler olduğu öntezi akla yakın görünüyor, dalgaboyları yaklaşıklıkla hesaplanabiliyordu. Dar bir aralıktan geçerkenki gibi bazı saçılım olayları, örgüdeki atomlararası uzaklıkla kıyaslanabilir dalgaboylarına sahip olduğu biçiminde yorumlanabiliyordu.

Bunun üzerine Max von Laue (1879-1960), kristal içinden x-ışını geçirildiğinde ne beklenmesi gerektiği üzerine kuramsal bir çalışma yaptı. Sonuçları hemencecik W. Friedrich ve P. Knipping tarafından, Röntgen'in işliğinde bulunan aygıtlar kullanılarak test edildi. Kısa sürede, von Laue'nin hesaplarını tümüyle doğrulayan mükemmel saçılım görüntüleri elde ettiler. (Resimler 7.7, 7.8). Kristal, periyodu atomsal düzenlilik tarafından belirlenen üç boyutlu bir saçılım ızgarası gibi davranır. Böylesi doğal ızgaralar, o günlerde Rowland, Michelson ve başkalarınca kullanılmış çizgili yapay ızgaralardan yaklaşık bin kez daha hassastı ve çizgili yapay ızgaraların görünür ışığa uygunluğu ile aynı ölçüde x-ışınları için de uygundu.

Von Laue'nin keşfi sayısız dal budak salmıştı. Hemen arkasından, İngiltere Leeds'de baba oğul W. H. Bragg ve W. L. Bragg, kristali gerçek bir x-ışını tayfölçer ızgarası yap-



Resim 7.8 Max Planck (solda) ve Max von Laue (sağda), 1927 Volta konferansına katılanlar için düzenlenen Como Gölü'ne düzenlenmiş bir gezide. (F. Rasetti'nin izni ile.)

makta kullanıp tayf çizgilerinin incelenmesini dalgaboyunun görünür ışığınkinden yaklaşık bin kez daha kısa olduğu bölgeye genişlettiler.

Görünür tayf, atomun dış elektronlarının devinimlerinden kaynaklanırken x-ışını en içtekilerden kaynaklanır. Sonuçta da x-ışını tayfı optik tayfta bilinmeyen düzenlilikler gösterir. Bragg'ın keşfinden hemen sonra H. G. J. Moseley'in tanıtladığı üzere, x-ışın tayfı atom numarası yani çekirdek yükü tarafından belirlenir.

Moseley'in öyküsü acıklı ve dokunaklıdır. Anne ve baba tarafından, bilimsel bir aileden geliyordu. İngilteredeki genel eğitim için en iyi okul olan Eton Koleji'nde eğitim görmüştü. Manchester Üniversitesi'nde Rutherford'un yanında araştırma çalışmalarına başladı, ama sonra Oxford'a geçti. Çok çalışkandı ve İngiliz fizikçiler içinde yıldızı giderek parlamaktaydı. (Resim 7.9) Birkaç yıllık deneysel kariyerinde kalıcı değer ve tükenmez ün sağlayan sonuçlar elde etti. Birinci Dünya Savaşı'nın başında gönüllü olarak yazıldı. Rutherford ve başkalarının onu ölümcül tehlikeden uzaklaştırıp İngiliz biliminde tutma girişimlerine karşın, savaş görevini yerine getirmekte ısrar etti. Churchill'in düzenlediği Çanakkale seferinde öldüğünde, yirmi yedi yaşındaydı.

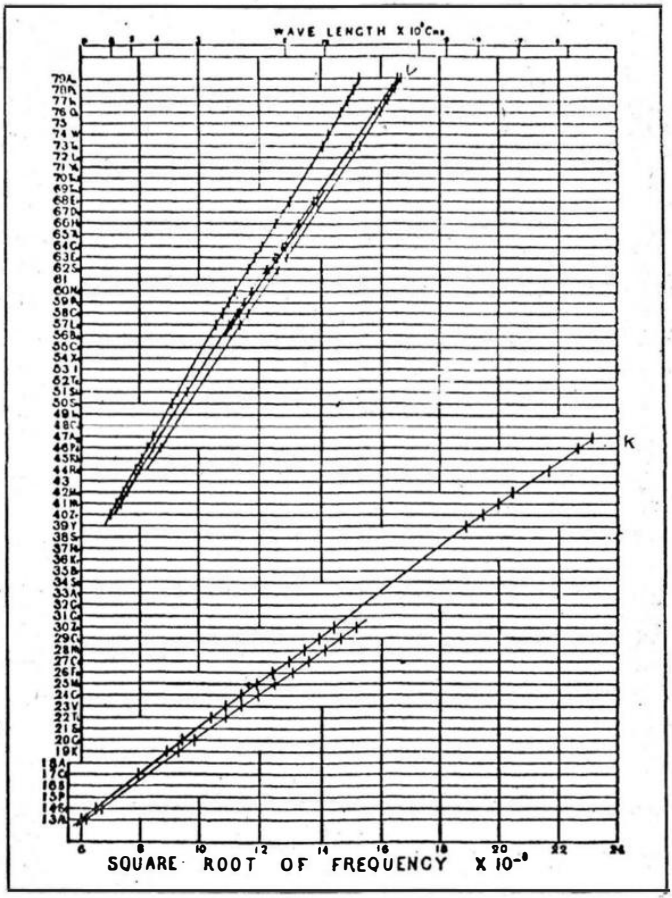
Savaştan önce Moseley, x-ışınlarının Z çekirdek yükünü yani atom numarasını ölçmek için yalın bir yöntem sağladığını göstermişti. Tayf içindeki belirgin x-ışın çizgileri Z^2 ile orantılı olan frekanslara sahiptir. Böylece, dalgaboyu tersinin karekökünе karşı atom numarasının grafiği çizildiğinde bir düz çizgi elde edilir (Resim 7.10). Eğer herhangi bir ögenin x-ışını tayfı eksikse, karşılık gelen yerdeki çizginin uzatılması yöntemiyle kolayca bulunabilmektedir. Bu yolla, bir öğeden sonra, Moseley uzun yıllardır kimyacıları bunaltmış olan sorunu çözmüş ve olası ender toprak elementlerinin gerçek sayısını belirlemişti. Ünlü Fransız kimyacı Urbain gelip de üzerinde yıllardır çalıştığı ender toprak örnekleri gö-

Resim 7.9 H. G. J. Moseley'in (1887-1915) ender portrelerinden biri. İngilizlerin düzenlediği Çanakkele seferinde öldüğünde yirmi yedi yaşındaydı. Atom numarası ve çekirdek yükünün proton yükü cinsinden ölçülen bir tamsayı olduğuna ilişkin buluşu, kimyasal öge kavramını netleştirmişti.(Manchester Üniversitesi.)

tirdiğinde ise Moseley, bir iki saatlik kısa bir irdelemenin ardından içeirklerini, heyecanla beklemekte olan kimyacıya açıklamıştı. Moseley'in de bir keresinde belirttiği üzere Moseley'in keşfi Bohr'un atomuyla doğrudan bağıntılıydı. Hidrojen tayf çizgilerini veren genel denklemde $n_1 = 1$ ve $n_2 = 2$ koymak, belirlenmiş bir oranlılık sabiti ile Moseley yasasını elde etmeye yeterlidir.

Moseley'in keşfi, henüz bilinmeyen kimyasal ögelerin kesinlikle belirlenmesini de sağlamıştı. O dönemde henüz bilinmeyenler 43, 61, 72, 75, 85 ve 87 numaralı ögelerdi; periyodik sistem de Z = 92 (uranyum) ile bitiyordu. İzleyen yıllarda 72 nolu öge Bohr'un işliğinde, Hevesy ve D. Coster tarafından 1923'de zirkonyum filizleri içinde keşfedilecek ve adına, Kopenhag kentinin Latince adından esinlenerek *hafnium* denecekti. Öge 75, 1925'de Ida ve Walter Noddack tarafından Berlin'de çeşitli filizler içinde keşfedildi ve Alman milliyetçiliğinin bir patlaması olarak (Almanya ile Fransa arasında uzun süren bir mücadele konusu olan Rheine bölgesi nedeniyle) adı *rhenium* kondu. Bu keşiflerde x-ışını irdelemeleri büyük öneme sahipti.

Öge 87, francium, 1939'da bir doğal ışımaetkim ailenin nadir raslanan bir dalında bulundu; 91, protoactinium ise, Otto Hahn ve Lise Meitner tarafından 1917'de uranyumun çürüme ürünü olarak keşfedildi. Son yirmi yıldır ışımaetkin yöntemler x-ışını irdelemelerinden çok daha önemliydi.



FREKANSIN KARE KÖKÜ X 10^{-8}

Resim 7.10 Bir Moseley diyagramı. Yatay eksen, karakteristik x-ışınımı yayımı frekansının kare kökünü göstermektedir. Dik eksen atom numarasını vermektedir. *K* çizgisi için frekans, çok iyi bir yaklaşıklıkla $3/4RZ^2$ bağıntısı ile verilmektedir [Kaynak; *Philosophical Magazine* 27, 703 (1914).]

Diğer ögeler kalanı yeryüzünde doğal koşullarda bulunmaz çünkü ışımaetkindirler ve yarı-ömürleri göreli olarak kısadır; bu yüzden, bir zamanlar varolmuş olsalar bile jeolojik evreler boyunca bozunmuş olsa gerektirler. Çekirdek bombardımanları ile yapay yoldan biçimlendirilmeleri gerekir. Bu yolla üretilenlerin ilki 43 numaralı öge (Grekçede yapay anlamına gelen) teknetyumdur (=technetium). 1937'de Carlo Perrier ve Segrè tarafından Berkeley siklotronunda molibdenin bombardımanıyla elde edilmiştir. Öge 61, prometyum (=promethium), yapay olarak Charles Coryell ve arkadaşlarınca 1946'da nükleer reaktörlerde elde üretilmiştir. Öge 85, astatin (=astat, İng. 'astatine'), yine siklotronda Corson, Mackenzie ve Segrè tarafından 1940'da elde edilmiştir. Periyodik sistemin uranyum ötesine genişletilmesi ise Hahn ve Strassmann'ın çekirdek parçalanmasını keşfinden sonra başarılmıştır.

Yeni x-ışını tayfölçümbilimi salt derin elektron kabuklarının ve temel kimyasal ir-

delemelerin benzersiz duyarlılık ve kesinlikle ölçülmesine olanak sağlamakla kalmamış kristal örgülerinin ve daha genel olarak katıların ve moleküllerin mimarisinin keşfine giden yolu da açmıştır. Bu yöntem, minerolojiden moleküler biyolojiye dek çok çeşitli bilimsel alanların temeli olan yeni ve etkin bir yapısal irdeleme bilime kılavuzluk etmiştir.

Aslında, moleküler biyoloji neredeyse paketçik devinbilimin fizikteki etkisiyle kıyaslanabilir bir devrimle gelmiş, tümüyle yeni ufuklar açmıştır. Bilimin bu yeni dalı, x-ışını yapısal irdelemesi ve 108. sayfa ve dolaylarında sözü edilen izci (=tracer) kullanımı konularında kaçınılmaz olarak modern fizikten yardım almıştır.

Eşilliğin yavaş yavaş ışımaetkin çekirdeğin temeli haline geldiğini ve J. J. Thomson'un kimyasal açıdan birbirinin aynı ama atom ağırlıkları farklı neon atomlarının varlığını kanıtlayarak dengeli atomlara genelleştirdiğini görmüştük. Savaşın hemen ardından F. W. Aston, eşil atomların kütle ve miktarları için bir dizi kütletayfı ölçümüne başladı. Uzun yıllar boyunca Aston birçok önemli sonuçlar elde ettiği bu tür incelemelerde saltanatı elden bırakmadı. "Tamsayı kuralı"ndan söz etmiştik. Einstein'ın $E = m c^2$ bağıntısıyla ilintili hassas kütle ölçümleri çekirdek tepkimelerinde soğrulan ya da açığa çıkan enerji hakkında bilgi sağladı ve böylece çekirdek fiziğinde yaşamsal öneme sahip oldu. Bugün çekirdek tepkimelerinde kütle tayfı ile yapılan ölçüm verileri, çekirdek kütlelerini 10^9 da birlik hata ile saptayabilmektedir. Ayrıca, eşil atom araştırmaları biyolojiden boşluk teknolojisine, arkeolojiden jeolojiye dek çok geniş bir alanda sayısız uygulamaya sahiptir.

Bunlar, farklı bilimlerarası karşılıklı bağlılığın dikkat çekici örnekleridir. Çeşitli organların birarada karmaşık ve bazen esrarlı bir biçimde çalıştığı canlı bir organizmayı gözlemeye benzemektedir.

Paketcil Atomun Kurulması

Bohr'un temel çalışmasından sonra, atomlar ve moleküller, kuramsal ve deneysel fiziğin merkezine kaydı. Fiziğin diğer alanları ise halen önde gelen fizikçiler tarafından incelenmekteydi, Rutherford çekirdek incelemelerini asla bırakmamıştı, ya da bir deneysel fizikçi olan Leyden düşük sıcaklıklara yoğunlanmıştı, ama atomlar ve moleküller en yoğun etkinliklerin odağıydı. Bohr'dan önce tayfölçüm, birçok tayf çizgisinin katoloğlanmasında ve bunların oluşum koşullarının incelenmesinde kullanılan bir yöntem olmaktan pek ileri gidememiş neredeyse tümüyle deneysel bir konuydu. Faraday'a dek geri giden, gazlar içindeki yükboşalımı da asıl olarak deneyseldi. yeni atom kuramı, birçok konunun anlaşılmasına ve yenilerinin öngörülmesine kılavuzluk yaptı; deney ve kuram el ele ve büyük bir hızla ilerlemeye başladı. Bu çalışmaların merkezi Almanya'ydı. En dikkate değer adımlardan biri, Birinci Dünya Savaşı öncesinde James Franck ve (elektromanyetik dalgaların Heinrich Hertz'inin yeğeni olan) Gustav Hertz tarafından atılmıştı. Sonuç alıcı kesin deneyleriyle, Bohr'un öngerçek (=postulate) olarak kabul ettiği durağan konumların (=states) varlığını kanıtladılar. Sadece hedefteki uyarılmış konumlarda bulunan atomların, yeterli

enerjiye sahip elektronların çarpmasıyla geri itilmesi sırasında uğradıkları enerji kayıplarını gözlediler. Dahası, bombardıman edilen buharın, uyarılmış konumdan alt konuma geçerkenkine karşılık gelen tayf çizgileri yaydığını gördüler. Yayımlanan frekanslar, Bohr'un öngerçek olarak ileri sürdüğü

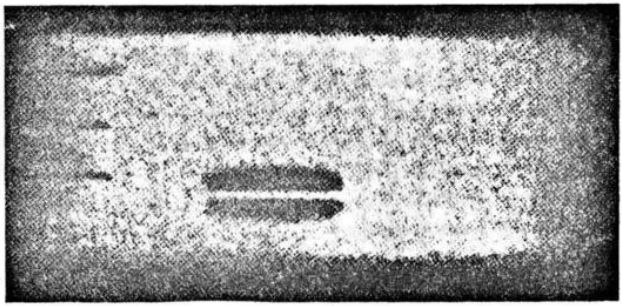
$$h\nu = E_1 - E_2$$

temel yasasına uyuyordu. Bu deneyler Bohr'un öntezlerinin en ilginçlerinden bazılarını elle tulur somutlukta kanıtlamıştı.

Savaştan kısa bir süre sonra, Otto Stern ve Walter Gerlach, 1921'de, Bohr kuramının gerektirdiği bir başka gerçeği daha tanıtladı; bu gerçek sağduyuya ya da daha iyi bir deyişle genel makroskopik algı deneyimlerine aykırı üşüyordu. Buna uzay paketçiklenmesi denmekteydi (Resim 7.11). Bohr'un paketçik koşulunu , elektron yörüngelerinin $h / 2\pi$ değerin tam katlarından biri olan $l\,h / 2\pi$ 'ye eşit değerde açısal momentuma sahip olması biçiminde bağıntılandırılabileceğini görmüştük. Bohr, Sommerfeld ve daha başkalarınca keşfedilmiş olan paketçiklenme koşullarınının daha da hassaslaştırılması, salt açısal momentumun değil ama onun örneğin varolan bir manyetik alanın belirlediği biryöndeki bileşenin de paketçiklenmiş olmasını da gerektiriyordu. Bu bileşen, m 'in mutlak değeri l değerine eşit ya da ondan küçük artı veya eksi bir tamsayı olmak üzere, sadece $mh / 2\pi$'ye eşit olabilirdi. Bundan da bir atomun uzayda sadece belirli doğrultularda yönelmiş olabileceği sonucu çıkartıldı. Örneğin, eğer $l = 1$ ise m, -1, 0, ya da 1 değerlerini alabilir ve atom sadece açısal momentumun manyetik alana paralel, dik ya da ters olduğu üç yönelimde bulunabilir. Bu olağanüstü gerçek, incecik bir atom ya da molekül demetini uygun bir manyetik alandan geçirip sapmalarını gözleyerek doğrulanabilir. Sapma, türdeş olmayan (=nonhomogeneous) bir manyetik alanın atomun açısal momentumuyla ilintili manyetik momenti üstündeki etkisinden kaynaklanır. Atomlar sadece süreksiz konumlarda yer alır.

Uzay paketçiklenmesi deneyini tasarlamış olan Otto Stern (1888-1969), bizim daha önceleri Einstein'ın Prag ve Zürih'te izleyicisi iken Bohr'un düşünceleri doğru çıkarsa fiziği bırakmaya and içtiğini gördüğümüz kişidir. Bence yüzyılın en büyük fizikçilerinden birisidir (Resimler 7.12, 7.13) 1920'den başlayarak kendini moleküler demet yönteminin geliştirilmesine adamıştır. Bu yöntemle ince bir molekül demeti yüksek vakumda üretilir ve bu serbest konumda, ne araştırılacağına bağlı olarak, üzerine elektrik ya da manyetik alan uygulanır. Yöntemin önemi, moleküllerin serbest ve deneysel koşulların birçok kuramsal değerlendirmenin öngereklilik olarak gördüğü koşullara epeyce yakın olmasından gelir.

Moleküler bir demeti 1910'da ilk üreten, Fransız Fizikçi L. Dunoyer'dir. Bununla birlikte, yöntem asıl olarak Stern, çalışma arkadaşları ve öğrencilerince geliştirilip kullanılmıştır. Gazların kinetik kuramının temel varsayımlarını ve özellikle de hızlarının Maxwell'cil dağılımını, uzay paketçiklenmesini, çeşitli atomların manyetik momentlerini,



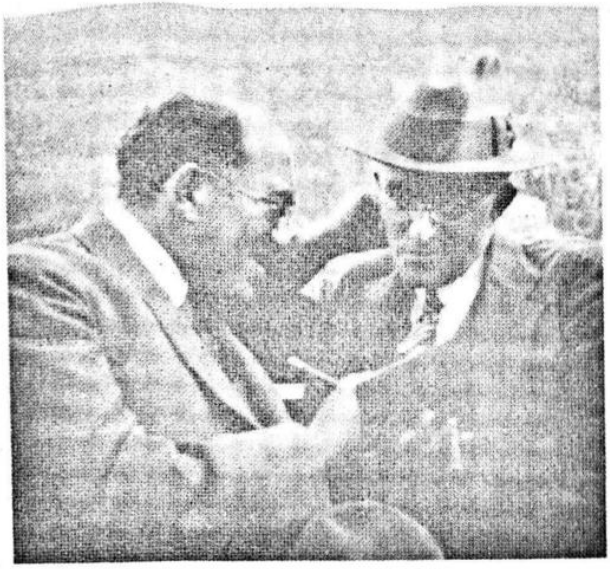
Resim 7.11 Uzay paketçiklenmesi üzerine Stern ve Gerlach'ın 1921'de yaptığı deneyin sonucu. İki karanlık lekeye manyetik alan içinde iki ayrı doğrultuda yönlendirilmiş olan (lityum atomları demetindeki) atomlar neden olmuştur.

protonun manyetik momentini, helyum atomlarının dalgaboyu ile momentum arasındaki bağıntıyı ve daha birçok konuyu incelediler. Stern de Naziler tarafından sürgüne gönderildi, enstitüsü boşaltıldı. Sonraları Birleşik Devletler'e yerleşti, ama en önemli araştırmalarını sürgünden önce tamamlamıştı. Stern geleneği o düzeyde donup kalmadı. Esas olarak New York City'deki Columbia Üniversitesi'nden I. I. Rabi (1898 -) ve okulunun geleneğe soktuğu gelişmiş radyofrekans ve vakum teknikleriyle sürdü ve daha da gelişti. Stern'in yaptığı önceki ölçümlerde dev adımlarla ilerletip tümüyle yeni problemlerin de üstesinden gelebildiler. Rabi, 1930'da Stern'in işliğinde doktora sonrası araştırmacı olarak bulunmuştu. Stern yönteminin gücünden etkilenmiş, ama işlikteki deneylere katılmamıştır.

Ortaya konuşundan sonra yaklaşık yirmi yıl geçmiş olan Zeeman etkisi özellikle Almanya'da F. Paschen, E. Back ve başkaları tarafından halen çalışılmaktaydı. Daha karmaşık atomların yapısını açığa kavuşturmakta yardımcı olmuş hassas ve önemli sonuçların sürekli kaynaklarından biriydi. Zeeman üçülünün (=triplet) H. A. Lorentz tarafından klasik terimlerle yapılan açıklaması paketçik terimlerine çevrilebilir ve uzay paketçiklenmesine ilintilendirilebilirdi. Bununla birlikte, birçok atom, Lorentz üçülünden daha karmaşık Zeeman şekilleri gösterebilmektedir. Bunlara *kural dışı Zeeman etkisi* denir ve atomik kurama gerçek bir meydan okuma anlamı taşırlar.

Alfred Landé, önce Münih sonra da Tübingen'de söz konusu etkileri oldukça hassaslıkla betimleyen yarı deneysel bağıntılar bulmuştu, ama sonuçlarını herhangi bir kuram çerçevesi içinde anlamak çok güçtü. Örneğin, atom mekaniğinde, karşılık gelme ilkesi temelinde $h / 2\pi$ birimli açısal momentumun karesinin belirli bağıntılara gireceğini bekleriz. Açısal momentum bir tamsayı l olduğunu biliyoruz, ama sözkonusu bağıntılar deneysel verilerle ancak l^2 yerine $l(l+1)$ konursa uyuşuyordu. l değeri büyük olduğunda, iki bağıntı da çakışıyor, ama l küçüldüğünde kökten ayrılıyorlardı. Dahası, $h / 2\pi$ değil de $h / 4\pi$ 'nin katlarına sahip açısal momentuma sıkça raslanıyordu. Başka bir deyimle, sanki yarım pa-

Resim 7.12 Otto Stern, iki savaş arası döneminin büyük deneysel fizikçilerindendir. Protonun manyetik momenti, de Broglie dalgaları ve uzay paketçiklenmesi üzerine yaptığı klasik deneyleriyle tanınır. Bütün bunlar moleküler demet yöntemi kullanılarak gerçekleşmiştir. (Hamburg Üniversitesi.)



Resim 7.13 Otto Stern, 1927 Volta Konferansı'na katılanlar için Como Gölü'ne düzenlenmiş bir gezide Amerikalı fizikçi L. Langmuir ile yaptığı bir tartışma sırasında. (F. Rasetti'nin izni ile.)

ketçikler ortaya çıkıyordu. Landé'nin bağıntısı deneysel sonuçlarla uyuşuyor, ama Pauli gibi bilimciler gizi çözemiyordu. Pauli'nin bir arkadaşı, onu Kopenhag'da bir park sırasında

mahzun bakışlarla oturduğunu görünce böylesine mutsuz edenin ne olduğunu sordu. Pauli şöyle yanıtlamıştı, "Kural dışı Zeeman etkisi üstüne düşünürken umutsuzluktan nasıl kaçınılabilir? "

$l\ (l + 1)$'yi açıklamak için, paketçik mekaniği; yarım paketçiği açıklamak için de, bükümlü (=spinning) elektron gereklidir. Her iki kavram da henüz boy atmak üzereydi. Bir sonraki bölümde ele alınacak olan bükümlü elektron, özgün formülasyonunda, paketçik mekaniğinden daha yalın ve sezgiseldir.

1925 Kasım'ında, Leyden'de çalışan yirmi beş yaşlarında iki Hollandalı fizikçi, en önemli keşfi yaptı; o zamana dek bir noktasal elektrik yükü ya da belki yüklü bir kürecik sayılan elektron bükümlüydü, yani içsel bir açısal momentuma sahipti. Başka bir deyişle, tıpkı dünya gibi kendi çevresinde dönüyordu. Ek olarak da, bükümüne bağlı bir içsel manyetik momenti vardı. Büküm, tahmin edeceğimiz üzere, açısal momentumun doğal birimi $h / 2\pi$ ile ilintilidir, ama burada yeni birşey var: bu birimin tam katı değil, onun yarısıdır. Aynı zamanda, büküm ile ilintili olan manyetik moment, *yörünge* açısal momentumunun bir birimi ile bağıntılı olan manyetik momente eşittir. Bu birim $eh / 4\pi mc$ 'dir ve Bohr magnetonu olarak adlandırılır. Büküm için açısal momentumu ile manyetik moment oranı yörünge için olanın iki katı kadar büyüktür. Uhlenbeck ve Goudsmit bu sonuçların tümünü bir atomik tayfı inceleyerek çıkarmışlardı.

Uhlenbeck, Hollanda Büyükelçisi'nin çocuğunun özel öğretmeni olarak bir süre İtalya'da kalmış ve orada Fermi ile tanışıp desteğini kazanmıştı. Bükümlü elektron düşüncesi akıllarına geldiğinde, Uhlenbeck ile Goudsmit'in ikisi de Leyden'de Ehrenfest ile çalışıyorlardı. İtalyan Dolomitleri'ne (Ç.N.59) birlikte gezi düzenleyecek kadar Fermi'nin yakın arkadaşı olan Macar kökenli Amerikalı fizikçi R. de L. Kronig de Uhlenbeck ve Goudsmit'le aynı düşünceye onlardan bağımsız olarak aynı zamanda ulaşmıştı. Konu hakkında Pauli'den ne düşündüğünü sorması şanssızlığı oldu. Pauli çoktandır başarılarıyla ve eleştirel sezgisiyle tanınmaktaydı, ama bu kez feci şekilde yanıldı ve Kronig'i, öntezinin herhangi bir temelden yoksun olduğuna ikna etti. Uhlenbeck ve Goudsmit, Pauli'nin bu eleştirisini duyduklarında önce haklı buldular ve Ehrenfest'in basılmak üzere bir dergiye gönderdiği makalelerini geri çekmeye kalkıştılar. Ne var ki, Ehrenfest onların henüz çok genç olduğu ve ses getirmeyecek bir makaleye katlanabilecekleri nedeniyle karşı çıktı. Böylece makale geri çekilmedi ve fizik dergisinde basıldı. Sonraları Pauli'nin eleştirisinin doğru olmadığı, başlıca H. L. Thomas tarafından kanıtlandı. Pauli, bağıntılardaki o ünlü 2 çarpanının, deneysel gerçeklere uyuşkunluğu yıkıyor göründüğü itirazını ileri sürmüştü; Thomas, bu değerin kolay görülemeyen relativistik değerlendirmeden kaynaklandığını gösterdi. Böylece Uhlenbeck ve Goudsmit, fiziğin büyük atılımı, elektron bükümünün gerçek kaşifleri olarak tanındılar. Ama ne yazık ki, Nobel Ödülü'ne layık görülecek kadar takdir edilmediler.

(Ç.N. 59) İtalyan Alpleri'nde bir dağ grubu.

Weimar ve Kopenhag Fiziği. Dışında Tutma İlkesi

Bohr, hidrojen atomuyla erken yaşlarda başarı sağlamıştı, ama en başından beri birden çok elektronlu atomlar konusunda kaygılıydı. İki cisimli problemlerden çok cisimlilere geçildiğinde mekanik sorunlar devasa büyüyordu. Paketçikleme kuralları genelleştirilmeli ve ortaya çıkan karmaşık varsayımsal yörüngeler hesaplanmalıydı. Paketçikleme kurallarının genelleştirilmesi ağırlıkla, Münih'te kuramsal fizik profesörü olan Arnold Sommerfeld (1868-1951) tarafından kotarıldı. Sommerfeld aslen salt matematikçiydi ve Göttingen'de Felix Klein ile çalışmıştı. Klein matematik ile teknik dallar arasındaki ilişkinin güçlendirilmesi gerektiği kanısındaydı ve Sommerfeld'i bu düşünceye yönlendirdi. Sommerfeld ilgisini salt matematikten değiştirip yağlanma, elektromanyetik dalgaların yayılması gibi mühendislik sorunlarına güçlü matematiksel yöntemler getirerek birinci sınıf bir uygulamalı matematikçi oldu.

Sommerfeld 1906'da Münih Üniversitesi'ne kuramsal fizik profesörü olarak çağrılmış ve burada bu dalda büyük bir merkez kurmuştu. Birçok yetenekli öğrenciyi buraya çekmeyi başarmıştı, paketçik kuramına ilgi duymasına yardımı dokunan Peter Debye de asistanıydı. Sommerfeld kısa bir süre önce görelilik kuramına yönelmişti. Münih'de kuramsal fizik, Sommerfeld'in önderliğinde serpildi. Öğrencileri matematiksel anıklık (=facility) kazanıyor güncel fizik öğreniyorlardı. Sommerfeld'in etkisi derine işleyiciydi, kırk yıldan fazla bir süre içinde kuramsal fizikte yetiştirdiği öğrenci kuşaklarının başarısı Rutherford'un deneycileriyle kıyaslanabilirdi. Kendi çalışmalarında Sommerfeld göreliliği Bohr atomuna uyguladı, fizikte çok önemli bir rol oynayan "ince yapı sabiti" $2\pi e^2 / h c$ 'yi ileri sürdü. Bu değer, bugün büyük bir hassaslıkla bildiğimiz üzere 1/137,03596'dır. Bu değeri bazı cesur kavramsal kuramlardan elde etmek için girişimler olmuşsa da bugüne dek başarılamamıştır. Sommerfeld'in, bir fizikçi kuşağının konuyu öğrendiği (Bknz. s. 201) ünlü "Tayf Çizgileri ve Atomik Yapılar" adlı yazısında belirttiği gibi, "İnce yapı sabitinde e elektron kuramının, h paketçik kuramının uygun temsilcisidir, c de görelilikten gelir ve klasik kurama karşıtlığın göstergesidir."

Sommerfeld birçok açıdan Alman profesörlerinin simgesi sayılabilir. Biraz resmi ve katı tavrının arkasında genç öğrencilerini koruyan sıcak bir kişiliği vardı. Sommerfeld çok iyi kayakçıydı ve kışın öğrencileriyle birlikte gittiği Bavyera Alpleri'nde bir evi vardı. Bu sıralar Geheimrat (Ç.N. 60) görünümünden sıyrılır ve resmiyetten en uzak biçimde kayak yaparak fizik tartışanlara katılırdı. Gerçekten, gelecek için umut veren genç fizikçilere ilgisi Almanya dışına dek uzanırdı. Hitler iktidara geldiğinde, büyük Alman ulusçusu Som-

(Ç.N. 60) Geheimrat; ev alışkanlıkları. (Alm.)

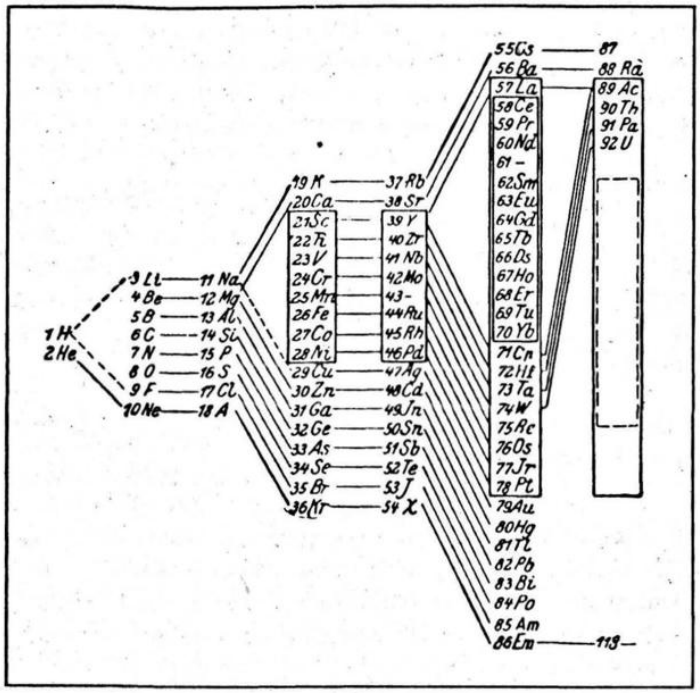
merfeld, Führer'in umursamazlığıyla karşılaşmamıştı. 1934'de, bir ders vermek için gittiği Hollanda'daki karşılaşmamızı anımsarım. Burada muazzam bir ücret almış büyük bir sevinçle bana "Bunu hemen sürgündeki bilginler yararına kullanılmak üzere Rutherford'a göndereceğim. Böyle birşeyi Almanya'dan yapamam, bu benim için kaçırılmayacak bir fırsat." demişti.

Fizikçiler, Bohr ve Sommerfeld'in yöntemlerini, manyetik Zeeman etkisine benzeyen ve Johannes Stark'ın 1913'de keşfettiği tayf çizgilerinin elektriksel ayrışımı olgusuna uyguladılar. Söz konusu yöntemler, bitirici adımların W. Kossel tarafından atıldığı x-ışın tayfının ayrıntılarıyla çözülmesinde ve tayf çizgilerinin yeğinliklerinin hesabında da uygulandı. Bu çalışmaların çoğu, Münih dışında yapılmışsa da, Münih'deki Sommerfeld'in etkileriyle gerçekleşti. Sonuçlar her zaman niteliksel olarak doğruydu ama niceliksel olarak ancak yaklaşık olarak doğruydu. Yine, bağıntılar l^2 yerine $l\ (l + 1)$ konduğunda deneyle uyuşuyordu. Tüm bu değerlendirmeler ve girişimlere dışında tutma ilkesi kılavuzluk yapmaktaydı. Bununla birlikte, görünüşte yalın olmasına karşın tüm kuramsal ele alışlara inatla direndiği kanıtlanmış problemler de vardı. İçlerinde en göze çarpanı, helyum atomuydu.

Bu dönemin en büyük başarılarından biri, ögelerin periyodik sisteminin açıklanabilmesiydi. Bohr periyodik sistemi atomik elektronlara yörüngeler tanımlayarak açıklamaya çalışmıştı hep, ama kullanılan ölçütler yalın olmaktan uzaktı ve güvenilir değildi. İlk makalelerinden beri sorun aklındaydı ve çeşitli çözümlere girişmişti (Resim 7.14). 1922 yıllarında sezgisel yoldan tanımladığı yörüngeler aslında doğruydu, ama sonradan anladığı gibi, kullandığı gerekçeler çok güçlü değildi. Özellikle, ender toprak ögelerinin sayısı ve periyodik tablodaki yerleriyle uğraşmıştı. Bu çetin bir sorundu ve başarısından gurur duyuyordu. 1922 Nobel söylevinde şunları söyledi, "Gerçekten de, ender toprak ögelerinin varlığı doğrudan deneysel araştırmalarla ortaya konmamış olsaydı bile doğal sistemin altıncı periyodunda bu karakterde ögelerin bulunduğunun kuramsal yoldan öngörülebileceğini söylemek, abartı sayılmamalıdır." [Nobel Ödülü, 1922]. Bohr'un yörünge tanımlamasının doğruluğunun kanıtlanmasına şöyle bir öykü eşlik eder.

Ona göre, öge 72 ender toprak ögesi değil, ama zirkonyuma benzer bir metal olmalıydı. 72 atom numaralı ender toprak ögesinin keşfine ilişkin çeşitli bildiriler vardı ve Urbanca bir deyimle adı celtium konmuştu, oysa Moseley bu ögeyi elindeki örnekler içinde saptayamamıştı. Bu da Bohr'un düşüncelerini doğrulunu sınamak için bir fırsattı. Öge 72, beklenmedik kolaylıkla zirkonyum filizleri içinde bulundu; ender toprak ögelerinin değil bir zirkonyum benzeşiğinin özelliklerini taşıdığı anlaşılınca Bohr'un düşünceleri de doğrulanmış oldu. Bu güzel çalışma Bohr enstitüsünde x-ışın tayfçısı Coster ile Bohr'un eski arkadaşı Hevesy tarafından yapılmıştı.

E. C. Stoner, İngiltere'de, Bohr'un çalışmasını daha da geliştirdi, ama ne olursa olsun yörüngeler henüz doğru düzgün ölçütlerle tanımlanmamıştı. Bu aşamada sahneye Wolfgang Pauli (1900-1958) çıktı. Kural dışı Zeeman etkisi ve farklı düzeylere verilen paketçik numarasına ilişkin çok derin birçalışma yaptı. Stoner tarafından sınıflandırılmış verileri inceledi ve 1925 başında, paketçik kuramında yeni bir ilke formüle etti: tümüyle aynı paketçik



Resim 7.14 Bohr'a göre (1921) ögelerin periyodik sistemi. Pauli'nin keşfinden önce olmasına karşın, epeyce doğrudur. [Kaynak: *Annalen Der Physik* 71, 228 (1923).]

numaralarına sahip iki elektron atom içinde birlikte var olamaz. Her yörünge ayrı paketçik numaralarıyla (bunlar, atom için dört tanedir), belirtilebilir ve her yörünge ya boş olabilir ya da bir elektron içerebilir. Pauli, dışında tutma ilkesi diye bilinen bu ilkeyi bükümün keşfinden önce tayf verilerini inceleyerek buldu. Büküm, dört paketçik numarasını Pauli'nin zannettiğinden çok daha doğal bir yoldan yorumlanmasına olanak sağladı. Dışında tutma ilkesi ya da çoğunlukla adlandırıldığı üzere Pauli ilkesi, atomik uygulamaların çok daha ötesine taşmaktadır. Paramagnetism, elektronların metal içi davranışları ve alçak sıcaklık olguları gibi konuları açıklamanın anahtarı oldu. Sonraları çekirdek fiziğine de uygulandı.

1926'da Enrico Fermi (1901-1954; Resim 7.15) Pauli ilkesinin en yararlı uygulamalarından birini, onu istatistiksel devinbilime sokarak yaptı. Böylelikle, tıpkı Bose ile Einstein'ınki gibi doğada uygulaması olan yepyeni bir istatistik türü elde etti. Bazı parçacıklar, örneğin elektronlar, Fermi istatistiğine uyar; diğerleri, örneğin alfa parçacıkları Bose-Einstein istatistiğine. Çok yıllar sonra, 1940'da Pauli, önceleri ortaya konmuş bir deneysel bağıntının doğrulamasını verdi. Tamsayılı bükümü olan parçacıklar Bose-Einstein istatistiğine uyuyor(ve bunlara *bosonlar* deniyor) iken, tamsayı yarısına eşit bükümlü parçacıklar Fermi istatistiğine uyuyor(ve bunlara da *fermiyonlar* deniyor)'du. Bu gerçeğin Pauli tarafından kanıtlanmasının görelilik ve nedensellik (=causality) içinde çok derin kökleri olduğu görülmüştür.

Resim 7.15 Enrico Fermi 1928'lerde. (Fotoğraf G. C. Trabacchi tarafından çekilmiştir.

1926'da Dirac, Pauli ilkesinin paketçik devinbilimsel formülasyonunu geliştirdi ve aynı makalede, Fermi istatistiğini paketçik devinbilimsel bir tabana oturttu. Pauli ve Fermi'nin önceki makalaleleri, Bohr ilkelerindeki yarı klasik değişiklikler doğrultusundaydı.

Atom modellere ilişkin uygulamaların bir kaçından ancak söz edebildim. Gösterişli gelişmeler zamanın kitaplarında yansıyordu, herşeyden önce Sommerfeld'in *Atombau und Spektrallinien'* inde, sonra da bu kitaptan türetilmiş daha niceelerinde.

Serpilerek sonunda paketçik devinbilime götüren entellektüel etkinliklerin merkezi Almanya'ydı. Savaştan sonra kurulmuş olan *Zeitschrift für Physik*, olasılıkla önder bilimsel dergiydi. Almanya'da iki okul özellikle kuramsal fizikte önemli bir konumdaydı; biri Münih'te Sommerfeld'in önderliğindeydi, öteki de Göttingen'de Max Born'un önderliğinde. *Atombau und Spektrallinien* kitapçığını herkes okuyup çalışmıştı. Bir baskı ötekini izliyor ve her biri güncelleştiriliyordu. Yazım, imrenilecek denli açıktı, okuması kolaydı ve göreceli olarak bütünlük içindeydi. Bu yıllarda, Sommerfeld'in kitabını hazmetmiş iyi bir öğrenci, doğrudan güncel yayınlara gidip özgün araştırmaya başlayabilirdi.

Bohr'un önderliğindeki bir üçüncü merkez Kopenhag'daydı. En iyi Alman öğrenciler, hacılar gibi Münih'ten Göttingen'e, oradan da Kopenhag'a gider gelirlerdi. Doğaldır ki, bu üç merkezden başkaları da vardı. Bunlar Almanya'nın başka yörelerinde, İngiltere'de, Fransa'da, Hollanda'da ve İskandinav ülkelerindeydi. 1927'den sonra Roma, Fermi orada kadro aldıktan sonra önem kazanmaya başladı.

Tüm önder enstitülerin profesörleri sıkça toplanır ve salt teknik konularda değil ama gelecek için umut veren yeni acemiler hakkında da bilgi alışverişinde bulunurlardı. Birleşik

Resim 7.16 Enrico Fermi (solda) ve Niels Bohr, 1931 yılında Apian Yolu'ndaki bir yürüyüş sırasında tartışırken. (Fotoğraf S. Goudsmit tarafından çekilmiştir.)

Devletler'de Rockefeller Foundation, esrarlı ve imrenilecek denli zekice yollardan seçtiği birçok genç bilimciye para desteği sağlamıştı. Bunların arasında Heisenberg ve Pauli gibi paketçik devinbilimin kurucuları da vardı. Toplantılarda, burslarla sağlanmış geçici ikametlerde ve kısa ziyaretlerde fizikçiler çoğunlukla uzun süreli arkadaşlıklar kurarlardı. Yaşlı profesörler ve okul önderleri arasında Sommerfeld, Ehrenfest ve Bohr, öğrencilerine ve yetenekli bilginlere karşı gösterdikleri ilgiyle hemen fark edilirlerdi, salt kurdukları arkadaşlıklarla değil onları çalışma arkadaşlarına ve başka üniversitelere salık vererek de. İşliğinin olanaklarından yararlanmama izin verip sonra da bir burs kazanmama yardımcı olan Zeeman'ın gösterdiği şefkati hala anımsarım. *Atombau*'nun yeni bir baskısında benim bir araştırmam kaynak gösterildiğinde hissettiğim sevinç ve onuru da anımsarım. İşin henüz başındaki biri için paha biçilemez bir destekti. Rutherford da benzer biçimde yüreklendirirdi ama alanını İngiliz İmparatorluğu'yla kısıtlı tutma eğilimindeydi, yine de küçük bir bölge sayılmaz kuşkusuz.

Dünyadaki toplam fizikçi sayısı göreceli olarak azdı, şimdikinin onda biri kadardı. Birleşik Devletler ufukta görünmüştü, özellikle de deneysel araştırma alanında. Daha önce de sözünü ettiğimiz üzere, R. A. Millikan ve A. H. Compton temel deneyleri gerçekleştirmişlerdi, ilki, Planck değişmezini ve elektron yükünü ölçmüş, ikincisi de ışık paketçiklerinin varlığını ve serbest elektronlarla esnek çarpışmalarını gözlemişti. Amerikan kuramcılarının sayısı azdı. Göttingen, Kopenhag ve özellikle de dil engeliyle karşılaşmadıkları Cambridge'e gitmişlerdi. Daha birçok başkalarının yanısıra J. R. Oppenheimer, J. C. Slater ve E. U. Condon Avrupa'ya gelmiş sonra da modern kuramı Birleşik Devletler'e taşımışlardı. Bazı öğrenciler de Japonya'dan gelmişti; en önemlilerinden biri, ileride ülkesinde büyük etkinlik kazanacak olan Y. Nishina'ydı. Sovyetler Birliği'nden gelenler A. Joffe, J. Fraenkel ve D. Landau'ydu, ülkelerinde geleceğin üç bilimsel önderi olacaklardı.

Fizikçiler birbirine, şimdi telefon kullandıkları kadar sıklıkla mektup yazarlardı. (Ç.N. 61) Bazı yazışmalar basılmış çok daha fazlası da Amerikan Fizik Enstitüsü ve Bohr Enstitüsü gibi yerlerde koruma altına alınmıştı. Basılan Bohr ile Einstein ve Einstein ile Sommerfeld arasındaki yazışmalar olaylara canlı tanıklık sağlamaktadır.

Bohr'un etkinliği, paketçik kuramını bütünleştirme denemesi sayılabilecek ilk modellerinin çoktan aşılmasından sonra da uzun süre devam etti. Salt kişisel araştırmalarıyla değil, ama sorgulayıcı ruhu ve enstitüsünde yeşerttiği eleştirel yaklaşım ve ayrıca tüm ülkelerden gelen en yaratıcı genç kuramcılara sunduğu konukseverlikle paketçik devinbiliminin ilerlemesinde önemli bir rol oynadı (Resim 7.16) Dahası, dış merkezlere yaptığı ziyaretler bilimcileri büyük çapta gayretlendirdi ve yeni fikirlerin yayılmasını hızlandırdı. Birleşik Devletler'e 1923'deki ilk gezisi böyle ziyaretlerin bir örneği ve paketçik kuramının yaşayan bir temsilcisinin Yeni Dünya'ya gelişiydi..

Naziciliğin ilerlemesiyle Bohr, barbarlığın bu yeni biçimi yüzünden köklerinden kopmuş bilimcilerin en etkin cankurtarıcısı olmuştu. Kopenhag konferansları, "sürgündeki bilginlere" - daha açık deyimiyle, başlıca Hitler tarafından kovulmuşlara, hiç değilse geçici bir süre için iş bulma fırsatıydı. Bohr, geniş uluslararası ilişkileri sayesinde görevinde son derece başarılı oluyor, bu da hem kurbanlara hem de yeni işverenlere karşılıklı yarar sağlıyordu. Rutherford, sözünü daha önce ettiğimiz gibi, aynı amaca adanmış bir İngiliz komitesinin başkanıydı ve Bohr ile olan arkadaşlığı, girişimlerin başarı şansını arttırıyordu.

Sonraki yıllarda Bohr özgün ve bereketli düşünceleriyle çekirdek kuramına da katkı yaptı, ama bunlar önem açısından fizikte devrime yolaçan ilk gençlik makaleleriyle kıyaslanamazdı. Yine de çekirdek araştırmalarındaki sezgisi, çekirdek bileşikleri ve parçalanmaya uygulanışı gibi yalın ama verimli birçok modele kılavuzluk yaptı. Onun konulara bakış açısı, bir sonraki çekirdek fizikçisi kuşağı üzerinde etki yarattı, bunların içinde Niels Bohr Enstitüsü (eski adıyla Bohr Enstitüsü)nü başarıyla başkanlık yapmakta olan olan Aage de vardır ve bu gelenek şu ya da bu biçimde halen sürmektedir.

(Ç.N. 61) Günümüzde buna fax ve bilgisayar ağları da eklenmiştir.

İkinci Dünya Savaşı sırasında Bohr acıklı maceralar yaşadı. Arkadaşları anlatmıştır, Danimarka'yı işgal eden Nazilerce tutuklanmak üzereyken, bir gece üstü açık bir balıkçı teknesiyle ülkesinden ayrılıp İsveç'te karaya çıkar. Kısa bir süre sonra, çok yüksekten uçmak zorunda olan askeri bir uçakla İngiltere'ye geçme cesaretini gösterir. Uçuş sırasında, kullandığı oksijen maskesinin o yüksekliğe uygun olmayışı nedeniyle bilinç kaybına uğrar, öyle ki bir ara mürettebat öldüğünü sanarak dehşete kapılır. İngiltere'den de Amerika'ya geçer ve bir gün, bizim için tam bir sürpriz olmuştur, Los Alamos'ta atom bombasının yapımına ayrılmış bir işlikte karşımıza çıkar. Birçok Avrupalı, (İşliğin Yöneticisi) J. R. Oppenheimer'in evine Bay Baker'la tanışmak üzere gizlice çağrılmıştı; Bay Baker, sahte adla dolaşmakta olan Bohr (ve oğlu Aage)'dır aslında. Orada, o acıklı atmosfer içinde, Avrupa'nın işgali hakkındaki bilgileri ilk elden almıştık. İlk kez, Nazi işgalinin gerçekleri hakkında bu denli yakın ve yetkin bir tanıklığımız olmuştu.

Bohr, atom silahlarının sonuçları hakkında derin bir kaygı duyuyor ve olabildiğince erken bir tarihte atom bombası projesinden Sovyetleri haberdar edip, bu jestin Sovyetler Birliği'yle bir anlaşma yapılmasını sağlayacağını umarak Başkan Roosvelt ve Curchill'i etkilemeye çalışıyordu. Böylelikle, belli belirsiz görünmekte olan bir silahlanma yarışı olasılığını hafifletme arzusundaydı. Aynı zamanda, çekirdek erkinin insanlık yararına dönüştürülebileceğini umuyordu. Ama başaramadı. Konu hakkındaki düşünceleri, ileride 1950 yılında Birleşmiş Milletlere yazdığı bir açık mektupta dile getirilmiştir.

Yaşlılık döneminde Bohr'un ilgilendiği konular fiziğin dışına taşmıştır. Eşiyle birlikte, konukseverlik ve nezaket sergileyerek orasının bir Rönesans prensinin sarayı olduğunu düşündüren Kopenhag'daki görkemli malikanelerinde yaşadılar.

Bohr, 18 kasım 1962'de 78 yaşındayken aniden öldü.

8

Sonunda Doğru Paketçik Devinbilimi

Önceki bölümde, atom modellerinin zafer ve acı başarısızlıklarına değinmiştik. Belki de hiç kimse atom gizlerinin bazılarını çözerken bu denli başarılı olan yöntemlerin zayıf yönlerini Bohr kadar iyi bilemezdi. Bu cümleye "belki" sözcüğüyle başlamamın nedeni, bu konuda özgün ve derin düşünceler üretmiş olan Einstein'm da konu üzerinde yirmi yıl kadar kuluçkaya yatmış ama çıkış yolu bulamamış olmasıydı. 1920'lerin başlarında eski yöntemler sınırlarına ermişti ve yeni güçler yeni kuşaktan, fizikte tutarlı bir paketçik mekaniği sorununu çözmesini istiyordu. Bu, yüzyılın en büyük meydan okumasıydı ve çözümü için yeni bir düşünce biçimini gerektiriyordu. Burada ilginç bir olguyla karşılaşıyoruz. Bir kaç yıl içinde söz konusu gize üç yönden birden saldırılacaktı ve başta, paketçik mekaniğinin bir değil üç tane ayrı ama tutarlı biçimi olduğu sanılacaktı. Ancak, kısa bir süre sonra bunların, aynı kuramın farklı formülasyonları olduğu dolayısıyla da üçünün arasında gerçekte hiçbir fark bulunmadığı anlaşılacaktı.

Artık sorunun matematiksel biçime ilişkin yanı çözülmüş, yeni bir epistomolojik (Ç.N.62) problem açılmıştı, çünkü matematiksel bağıntıların yorumlanması, fiziğin temel kavramları belirlilik (=determinism) ve nedenselliğin kapsamlı ve derinlemesine gözden geçirilip düzeltilmesini gerektiriyordu. Bununla birlikte, Einstein'ın 1905'de uzay ve zaman irdelemesi sırasında yarattığından daha az şaşaalı ve devrimci olmayan yeni bir felsefesel irdelemeye de gerek duyuluyordu.

(Ç.N. 62) Epistomoloji = Bilgi Kuramı

Lois de Broglie: Madde Dalgaları

İlk devrimci adımı atan, dönemin fizikçileri arasında hemen hiç tanınmayan bir Fransız aristokratı, Prens Louis de Broglie (d. 1892) (Ç.N. 63) oldu (Resim 8.1). De Broglie ailesi aslen İtalyan ve Piedmont'daki Chieri kasabasındandı, 18. yüzyıldan beri de mareşaller, elçiler, bakanlar ve sonunda Prens Louis ile ağabeyi Dük Maurice Broglie'yi yetiştirerek Fransız tarihinde öne çıkmıştı. Maurice, erken tarihlerde x-ışınları üzerine yaptığı araştırmaların yazarı olarak tanınmış bir fizikçiydi. Araştırmalarını Paris'te Byron caddesi üzerindeki saray yavrusuna benzeyen evinde kurduğu işlikte gerçekleştirmişti. Bu yönüyle de bana, Terling Place'de, kırsal alandaki malikanesini işlik yapan arkadaşı Lord Rayleigh'i anımsatır.

Bu iki kardeşin babası, Louis henüz çok gençken ölünce, on yedi yaş büyük olan ağabey Maurice, kardeşine karşı babalık görevini üstlenmişti. Louis'in ilk ilgi alanı tarihti ve bu alanda ciddi bir eğitim almıştı. Ne var ki, giderek arşiv işlerinden soğudu. 1911'de, ışığın doğası, ışıma ve paketçiğe ilişkin sorunları, ilk Solvay Konseyi'nin sekretaryasını yürüten ağabeyinden işitince bu bilimsel konulara ilgi duymaya başladı. Birinci Dünya Savaşı sırasında Fransız ordusunda radyoyla ilintili işlerde görev almıştı. Savaş sonrasında fizik çalışmaya başladı ve kurama eğildi.

De Broglie, giderek, ışığın ikili doğasının ortaya serdiği ikilem üzerine düşüncelere dalar olmuştu. Saçılım ve girişim üzerine yapılmış tüm deneylere göre, ışık elektromanyetik dalgalardan oluşuyordu, ama, Einstein'ın öntezine göre de tüm enerjisini maddeyle değişebilen taneciklı. Her iki bakış açısı da muazzam deneysel gerçeklerle destekleniyordu, eskiler dalgayı yeniler ise ışık paketçiğinin doğruluğunu gösteriyordu. En son verilerin bir bölümü, ağabeyinin işliğinde ve bizzat kendisinin de yardım ettiği deneyler sonucunda elde edilmişti. Bu denli çelişkili görünen bu iki yönü uzlaştırmanın bir yolu bulunabilir miydi? Önceki sayfalarda gördüğümüz üzere Einstein bunun, fiziğin yüzyüze gelmiş olduğu en büyük sorunlardan biri olduğuna dikkat çekmişti.

Louis de Broglie, 1921'deki üçüncü Solvay Konseyi'ne katılmak istemiş, ama ne kadar yalvardıysa bir konuk davetiyesi elde etmeyi başaramamıştı. Bu geri çevrilmenin hırsıyla, bir sonraki toplantıya, konuk değil yaptığı buluşlardan ötürü katılımcı üye olarak davet edileceğine dair yemin etmişti. Gerçekten de, yemini 1927'deki beşinci toplantıda yerine geldi.

De Broglie devrimci görüşlerine şu paradoksla başladı:.

Bir yanıyla ışığın paketçik kuramı yeterli sayılamaz, çünkü ışık taneciğinin enerjisini ν frekansını içeren W = h ν bağıntısıyla tanımlar. Oysa salt ık tanecik kuramı bir frekans tanımlamamıza elverecek hiçbir şey içermez; demek ki, sırf bu nedenle bile ışığın aynı anda hem tanecikli hem de periyodik oluşunu öne sürmekte zorlanırız. Öte yandan, atom içinde dengedeki elektronların devinimi ortaya tamsayılar

---

(Ç.N. 63) Louis de Broglie, 19 Mart 1987'de Paris'de öldü.

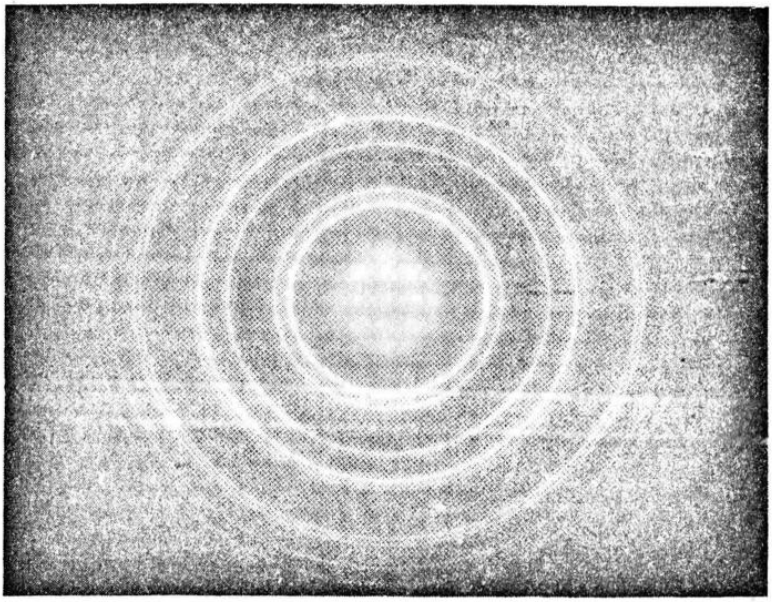
Resim 8.1 Louis de Broglie. Elektronun dalgasal doğasına ilişkin öntezi ve elektron doğasının ikili yönü ve ünlü $\lambda = h / p$ bağıntısıyla, de Broglie dalga mekaniğine giden yolu açmıştı.

çıkarır: fizikte bu güne dek tamsayılar içeren biricik olgu, girişim ve titreşimlerin normal modlarıdır. Bu gerçek, elektronların da salt tanecikler olmayıp periyodiklik de içeriyor olabileceklerini düşünmeme yol açtı. [1929 Nobel Ödülü]

Sonra da düşüncelerini geliştirmekte göreliliği kullandı ve bir barçacığın $p = m v$ momentumunu parçacığa eşlik eden bir dalganın λ dalgaboyuna ilintilendiren şu temel bağıntıya ulaştı

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

De Broglie'nin daha sonra vurguladığı üzere optiğin iki yüzü vardı: Klasik nokta devinbilimine birçok biçimsel benzerlikler gösteren geometrik optik ile ışık dalgalarının kıvrımlı niteliğini öne çıkaran dalga optiği. Yine de geometrik optik, bir yaklaşıklık olarak dalga optiğinden türetilebilirdi. Geometrik optik çoğunlukla ışık "ışınları"nı izleyen araç yapımcıları tarafından kullanılır ve aradaki uzaklığın ışığın dalgaboyuna kıyasla büyük olduğu durumlarda doğru sonuçlar verir. Merceklerin özelliklerini irdelerken dalga yüzeylerine dik çizgiler yerine ışık ışınlarından söz etmemiz bundandır.



Resim 8.2 100 keV'luk elektronun kırınımı. De Broglie bağıntısına göre, dalgaboyları yaklaşık $3{,}7 \times 10^{-10}$ cm'dir. (Fotoğraf; A. Chambers)

Işık ışınlarıyla parçacık izlekleri arasında yakın matematiksel biçim benzerlikleri olduğu yüzyılı aşkın bir süredir biliniyordu. 1835 dolaylarında İrlandalı Matematikçi William R. Hamilton, bir kuvvet alanı içindeki maddesel bir noktanın hareket denklemini, farklı kırılma indekslerine sahip bir ortamdaki ışık ışınının denklemine çok benzer biçimde yazmıştı. Gerçekten de, kullanılan simgelere farklı anlamlar yüklenirse denklemler tıpa tıp aynı olur. Kırılma indeksindeki bir farklılaşma ışık ışınlarını tıpkı potensiyelin maddesel noktaların izleklerini büktüğü gibi büker.

Dalga optiğinin geometrik optiği vermesi gibi sıradan devinbilimi verecek bir devinbilim nasıl kurulabilirdi? De Brogli'enin karşı karşıya olduğu sorun buydu. Bu bakış açısıyla da, daha önce sözü edilen $\lambda = h / m v$ bağıntısını yine bulmuştu. Ulaştığı bir başka önemli sonuç da, bir yörünge üzerinde durağan dalgalar sistemi kurmak istenirse yörüngenin tamsayıda dalgaboyu içermesi gerekeceği düşüncesine dayanıyordu. Burada tamsayılar ortaya çıkıyor ve böylece bazı durumlarda Bohr-Sommerfeld paketçiklenme kuralı ile aynı sonuçlar veriyordu. Dalgaboyu ve momentum arasındaki ilişki gerçekter doğrudur; paketçikleme yöntemi ancak özel durumlarda geçerli ve daha geliştirilmesi gerekliydi.

Elektron dalgalarınca yaratılan girişim olgusu (Resim 8.2), ilkin 1921-1923 yıllarında New York'daki Bell Laboratories'de C. J. Davisson ve C. H. Kusman tarafından gözlenmiş ama tam anlaşılamamıştı. Fiziğe henüz yeni başlamış olan Walter Elsasser, de Broglie'nin makalesini okuduktan sonra 1925'de bu deneyleri elektron kırınımları olarak açıkladı. So-

nuçlarından Einstein'a söz ettiği zaman şu yanıtı aldı, "Genç adam, bir altın madeni üzerinde oturuyorsunuz." [W. Elsasse, *Memoirs of a Physicist*, s. 66 (New York: Science History Publications, 1978)]. Açık seçik deneysel kanıtları ise 1927'de Bell Laboratories'de Davisson ve L. H. Germer ve Rutherford vesilesiyle (50. sayfada) andığımız J. J. Thomson'un oğlu G. P. Thomson sağlamıştır. Böylece baba ve oğulun her ikisi de elektrona ilişkin deneyleri sayesinde ünlenmişlerdir; baba tanecikli yönü, oğul ise dalga yönü. J. J.'in oğlu tarafından yazılmış olan yaşam öyküsünde okunabileceği üzere, aile içinde son derece ilginç ve hararetli tartışmalar çıkmaktaydı.

De Broglie'nin buluşunun - paketçiklenme yönteminin - ikinci bölümü ilkeldi, ama Erwin Schrödinger için elektronun gerçek dalga denklemini bulmasında uyarı oldu.

Prens, düşüncelerini, Paris'deki Académie des Sciences'ın *Comptes-rendus*'unda 1923 - 1924 yılları arasında basılan çeşitli notlarında geliştirdi. Arkasından da bu notları doktora tezi olarak daha tam bir metinde birleştirdi. Sorbon, bu tezi nasıl değerlendireceğini bilemediğinden, biraz sıkıntı çekti. Kararlarının bir bölümü şöyleydi: "Fizikçileri kuşatan güçlüklerin üstesinden gelme girişiminde dikkat çekici bir yetenekle harcadığı çabalarını takdirle karşılıyoruz." Einstein ve Marie Curie'nin arkadaşı P. Langevin etkilenmişti, Broglie'nin makalelerinden birer kopyayı Einstein'a gönderdi ve çok olumlu bir yanıt aldı; Einstein'a göre, makale en önemli buluşları içeriyordu.

Broglie'den şimdi bir süre için ayrılacağız; ileride yaklaşımına ne olduğu konusuna geri döneceğiz. Bu arada, Broglie'den on yaş daha genç olan bir başka fizikçinin Werner Heisenberg'in öyküsüne yöneliyoruz.

Werner Heisenberg ve Wolfgang Pauli: Gizemli Matrisler

5 Kasım 1901'de Würzburg'da doğan Werner Heisenberg'in (1901-1976) babası Münih Üniversitesi'nde Yunanca profesörüydü (resim 8.3) Üniversite eğitimini tamamlayıp, Arnold Sommerfeld'in gözetiminde yaptığı doktora tezinin konusu sudinamiğiydi. Ne var ki, henüz derecesini almadan önce atom fiziğine yönelmiş ve tayf içindeki deneysel düzenlilikleri aramış, böylelikle sayısal verilerin uzmanı olmuştu. Heisenberg, Münih'te iken boş zamanlarını, doğayla içiçe olabileceği başta kayak ve dağcılık olmak üzere spora ayırırdı. Bir çok açıdan İzci ve Alman *Wandervogel* ruhu taşıyan romantik bir ulusçuydu. Heisenberg, yazdığı bir özyaşam kitabında, yetişkinlik yıllarından baktığında önemli gördüğü anlarını anlatmıştı. Kitap, Heisenberg'in doğa sevgisinin ve dağlarda geçirdiği deneyimlerin birçok yankısını içerir.

Heisenberg sadece paketçik devinbilimini başlatmış değildir, fiziğin çeşitli dallarına parlak düşünceler de sağlamıştır. Otuz yaşına gelmeden önce Leipzig'de bir fizik okulu

Resim 8.3 Werner Heisenberg (1901-1976) 1924 yıllarında. Matris mekaniğini ve q koordinatı ile 'conjugate'i p momentumu arasındaki $pq - qp = h / 2\pi i$ bağıntısını buluşu, paketçik devinbiliminin ilk tam biçimini ortaya çıkarmıştır. (Hamburg Üniversitesi.)

kurmuş ve burada kuramsal fizik kürsüsüne atanmıştır. Bu okulda, sadece bir ikisi ondan daha genç olan çok iyi kuramsal fizikçiler eğitim görmüştür.

Naziler iktidara geldiğinde, kişisel hiçbir tehlike içinde olmayan Heisenberg, derin bir sadakatle bağlı olduğu Almanya'da kalmaya karar verdi. Alman bilimini her türlü olasılığa karşı koruma umudu nedenlerinden biriydi, ama durumu çok iyimserce değerlendirdiğinden kendini sık sık çözülmesi zor çatışmalar içinde buldu. Savaş sırasında, başarısızlıkla sonuçlanan Alman atom bombası projesinin önderliğini yapmıştı. Savaştan sonra da Alman biliminin yeniden kurulmasında ağır çalışmalar üstlendi. Münih'e döndü, büyük bir fizik enstitüsünü yönetti, ama çoğu başka büyük fizikçinin başına da geldiği üzere, fizik artık onun erişemeyeceği yönlerde gelişmişti. 1976'da öldü.

Heisenberg Münih'te henüz öğrenciyken, adından daha önce söz ettiğimiz Wolgang Pauli ile tanıştı ve yakın arkadaş oldular. Pauli Heisenberg'le hemen aynı yaştaydı. Daha yirmi bir yaşındayken Encyklopädie der mathematischen Wissenchaften [*Matematik Ansiklopedisi*] için görelilik üzerine yazdığı bir makale (cilt. V 19) ile ünlenmişti. Bu yazı için önceleri Sommerfeld'e yardım ediyorken, usta kısa süre sonunda Pauli'in dehasını farkedip işi ona bırakmıştı. Einstein makaleden etkilenmiş ve yazarın yaşını öğrendiğinde şaşırmıştı. Makale İngilizce'ye çevrildi ve 1958'de basıldı. Halen de, görelilik üzerine yazılmış en iyi metinlerden biridir.

Pauli şişmandı, spordan hoşlanmazdı ve daha birçok açıdan Heisenberg'in tersiydi. Dahası, can sıkıcı eleştirel bir tavrı ve korkunç bir kültürel birikimi vardı. Böylelikle bir kahin, yeni fiziği keşfeden ya da buna inananlar için düşünceleri yargılayan bir yargıç işlevi görürdü. Ne var ki, Uhlenbeck ve Goudsmit'in elektron bükümünü keşfinde gördüğümüz üzere, kahin hiç de yanılmaz değildi. 1932'de Bohr'un çevresindeki bazı genç fizikçiler, Go-

ethe'nin Faust'unu modern kuramsal fizik çevresine uyarlayacakları gülmeceli bir oyun düzenlemeye karar verdiklerinde, "der Geist der stets verneint" [hiç yanılmayan ruh] Mefisto rolünü Pauli üstlenmişti,

Göttingen dönemi ve 1923'de Kopenhag'da bir süre kalışından sonra, Pauli Hamburg'da bir kadro buldu. Burada Otto Stern ile ömür boyu sürecek bir arkadaşlığı oldu. Daha sonra, Zürih'de Schrödinger'in yerine geçti. Savaş yıllarındaki Princeton İleri Araştırmalar Enstitüsü günleri dışında, 1958'deki zamansız ölümüne dek Zürih'te kaldı. Bu yüzyılın en büyük modern fizik kuramcılarından biriydi. Dışında bırakma ilkesi, çekirdek bükümü hipotezi, nötrino hipotezi, büküm ve parçacık istatistiği arasındaki bağlantıların açığa çıkarılması, buluşlarından birkaçıydı. Bilim yazarı olarak da, yukarıda sözü edilen görelilik hakkındaki makaleden başka paketçik devinbilimin en iyi açıklamalarından birini de kaleme almıştı.

Pauli'nin bazı garip huyları vardı. Örneğin, uluslararası bir konferansta benim proton-proton saçılım araştırmalarının bir bölümü üzerine yaptığım konuşma sonrasında aramızda bir başka fizikçi de olmak üzere salondan birlikte ayrılmıştık. Bana dönüp dedi ki; "Sizinkinden daha kötü bir konuşma dinlememiştim." Bir an için düşündükten sonra da, arkadaşımıza dönerek ekledi, "Sizin Zürih'teki açılış konuşmanız hariç." Pauli'yi yakından tanıdığımdan, bu sözlerine pek aldırmadım. Gövdesinin, konuşmam sırasındaki sallanan kayaları andıran devinmesi dinlediğinin kanıtıydı ve bu da, onu iyi tanıyan herkesin bildiği gibi, sözlerinden çok daha fazla şey ifade ediyordu. Pauli'ye yeni bir düşünce ya da kuramdan söz edildiğinde otomatik olarak şu yanıtı alırdı, "*Quatch*" (Alm. "Süprüntü"). Ama, vaz geçilmeyip ısrar ve düşüncelerin geçerliliği konusunda Pauli ikna edilecek olursa da, yardım eder ve yeni bakış açıları önerirdi. Onunla nasıl başa çıkılacağını öğrenmiş pek çok arkadaşı vardı, onların Pauli'ye duyduğu yüksek saygı da onun başlardaki hırçın davranışlarına yol açıyordu.

Pauli ve Heisenberg'in arkadaşlıkları kesintiye hiç uğramadı, konuşamadıklarında mektup yazarlardı. Bu mektuplar, paketçik devinbilimin gelişmesinin dramatik belgeleridir. Pauli duygusallıktan birden arkadaşını eleştirmeye geçiverirdi. Psikolojiye karşı da dayanılmaz bir ilgi duyardı, Carl Gustav Jung ile görüşürdü, psikolojik konular üzerine makaleler bile yazmıştı. Kişiliğinin başka yönleri, onun açısından açıkça önemli olsa bile, oldukça özel tutulmuştur.

Heisenberg, 1922'de henüz Sommerfeld'in öğrencisiyken, akıl hocasına katılıp Bohr'un birkaç dersini dinlemek üzere Göttingen'e gitmişti. Bu derslerin birinden sonra da Heisenberg Bohr ile tartışmaya girişmişti. Bu tartışma daha sonra Götingen civarında çıktıkları bir kır yürüyüşünde de sürdü. Bohr, genç bilginden etkilendi ve onu Kopenhag'a davet etti. Heisenberg, doktora derecesini Münih'te aldı ve hemen ardından Bohr'la çalışmak üzere Göttingen'e gitti. Kopenhag'a bir ziyaret dışında 1924 sonbaharına dek Göttingen'de kaldı.

1924'de, Bohr ile Kramers'in yürüttüğü ışık-yayılması kuramını izleyerek Heisenberg,

atomlardaki elektron yörüngelerinin gerçek resimleri gibi paketçik kuramının çeşitli sezgisel kavramlarından kuşkulanmaya başlamıştı. Pauli, Heisenberg'le görüşmelerinde, benzer kuşkular sergilemişti. Sonrasında Heisenberg, yörüngelerin katı ama gözlenemez betimlemelerini bir yana bırakarak sedece paketçik sıçramalarının geçiş olasılıkları gibi gözlenebilir niceliklerin kullanıldığı bir kuram formüle etmeye girişti. Bu sayede, model üzerine kurulmuş sahte kavramları atıp gerçeğe yaklaşacağını umuyordu.

Bu formülasyon, el altındaki sistemin başlangıç ve son konumlarına karşılık gelen iki indeksle etiketlenmiş niceliklerin kullanım zorunluluğu getirmişti; bu nicelikler, yörüngeli modelde periyodik hareketi temsil eden koordinatların Fourier açılımıyla da ilintiliydi. Bu şemanın ürettiği cebir (Ç.N. 64) ise, Heisenberg'i de şaşırttığı üzere komütatif (=commutative) değildi; yani, iki niceliğin çarpımı çarpımdaki sıraya bağlı çıkıyordu. Heisenberg, acılı bir allerji yaratan polenlerden kaçmak amacıyla 1925 Mayıs'ında kaldığı Kuzey Denizi'ndeki bir ada olan Helgoland'da, bu düşüncelerini geliştirdiği bir makale yazdı.

O günlerde Heisenberg matrislerin matematik kuramını bilmiyordu. Ama, daha sonra matris cebirini halletmesi gerektiğini kavrayıp, öğrenciliğinden beri konuyu çok iyi bilen Max Born'a (1882-1970) komütatif olmayan niceliklerinden söz etti. Heisenberg, Born (Resim 8.4) ve Born'un matematik yeteneğine sahip bir başka öğrencisi Pascual Jordan güçlerini birleştirip, kısa süre sonra, paketçik devinbiliminin doğru sonuçlar veren bir şemasını çıkardılar. Yöntemleri, devinim değişkenlerinin betimlenmesinde kullanılan matrislerle ilintili olarak, karşılık gelme ilkesinin daha derin ve inceltilmiş yorumuna dayanıyordu. Yöntem, aynı zamanda Hamilton'un klasik analitik devinbilimiyle de ilintiliydi. Ne var ki, q koordinatları ve bunların p 'conjugate' momentumları zamanın değişkeni olan sıradan sayılar değil matrislerdi - yani, kare içine doldurulmuş kompleks sayılar. Her sayının kare içindeki yeri iki indeksle belirlenir, ilki, sayının bulunduğu yerin satır ikincisi de sütun numarasıdır. Özel fiziksel uygulamalarda bu indeksler, sistemin başlangıç ve son konumlarına karşılık gelir. Matris gibi matematiksel nesneler, sıradan sayılarla uğraşırkenkine benzer yalın kurallara toplanıp çıkarılabilirler. Çarpım kuralı ise özeldir. p matrisinin q matrisini çarpmasıyla, q matrisinin p matrisini çarpması aynı sonucu vermez. Tersine, matrisler şu ilginç sıradeğiştirme (commutation) kuralına uyarlar:

$$pq - qp = \frac{h}{2\pi i}$$

(Ç.N. 64) Matematiksel niceliklerin toplama, çarpma ve benzeri işlemsel özelliklerine ilişkin özel kurallar dizisinden söz ediliyor.

Resim 8.4 Max Born (1882-1970)
Volta konferansına katılanlar için
Como Gölü'ne 1927'de düzenlenen bir gezi
sırasında. Dalga devinbilimin
olasılık yorumunu henüz geliştirmişti.
(Rasetti'nin izni ile)

Daha ayrıntılı olarak, p_{mr}, q_{mr} matris ögeleri için, aynı denklem şöyle yazılır

$$\sum_r \left(p_{mr} q_{rn} - q_{mr} p_{rn} \right) = \frac{h}{2\pi i} \delta(m,n)$$

burada $\delta(m,n)$ Kronecker simgesidir, $n = m$ için 1'e eşittir ama değilse de sıfıra eşittir.

Klasik fizik deyimiyle bir boyutta devinen bir nokta için q, x koordinattır, p de $mx = mv$ momentumu. Klasik fizikte p ve q birer sayı ise, $pq - qp = 0$ olacağı açıktır. Buna karşın paketçik devinbiliminde p ve q daha karmaşık terimlerdir - matrisler - ve yukarıda verilen sıradeğiştirme kuralına uyarlar.

Matrizenmechakanik ya da *Quantenmechanik* adı verilen bu yeni devinbilim açık seçik olmaktan uzaktı, hesaplamalarda büyük güçlüklere yolaçıyordu. Heisenberg ve arkadaşları genel kuramı öğrendikten sonra özel örnekler olarak harmonik ve harmonik olmayan salınıcılara ve başka bazı basit problemlere uygulamışlardı. Aynı yöntemi Pauli büyük bir çabayla hidrojen atomuna uygulamış ve 1912'de Bohr'un çelişkili öntezler kullanarak elde ettiği sonuçların aynısına ulaşmıştı.

Quantenmechanik müthiş çekiciliği olan yeni temel düşünceler içeriyordu. Özellikle, yörünge kavramını atıp sadece gözlenebilir nicelikler kullanıldığı için yeni ufuklar açacak gibi görünüyordu. Ama bu yöntemin de kavramları az çok bulutsuydu ve hiç değilse başlangıçta, yeni ve zor problemleri çözebilmekten uzaktı. Özetle, çekiciliği sadece küçük bir önderler grubu içinde kısıtlı kalıyordu.

Resim 8.5 Paul A. M. Dirac (d.1902) 1934 yılında. Dirac paketçik devinbilimin genel formülasyonunu verdi. Adıyla anılan, elektronun görelilik denklemi uzun erimli ve derin sonuçlar yarattı. (Fotoğraf; Ramsey & Muspratt.)

Paul Adrien Maurice Dirac: Soyutlama ve Matematiksel Güzellik

Göttingen ile Kopenhag arasında bütün bunlar olurken, Cambridge'de bir sürpriz hazırlanıyor, yeni ve ilk bakışta farklı görünen bir paketçik devinbilimi geliştiriliyordu. Bulucusu, yine genç bir insan, fizikçiler arasında az tanınan Paul A. M. Dirac'dı (Resim 8.5). İsveçli bir baba ile İngiliz anneden 8 Ağustos 1902'de İngiltere Bristol'da doğan Dirac (Ç.N. 65) Heisenberg, Pauli ve Fermi'nin çağdaşıydı. Bristol'de elektrik mühendisliği öğrenimi görmeye başlamış, ama henüz oradayken matematiğe yönelmiş, sonrasında ise matematik eğitimini Cambridge St. John's College'de sürdürmüştü. Burada iken, 1851 Sergisi'nde Kıdemli (=Senior) Araştırma Öğrencisi olmuştu. Yine aynı günlerde Bohr'un atom kuramını öğrenmiş, bu konu üzerinde makaleler de yazmıştı. 1925'de Heisenberg'in Cambridge'i ziyaretinden sonra Dirac, paketçik devinbilimiyle tanışmasını sağlayan Heisenberg'in Matrizenmechanick üzerine kaleme aldığı makalenin önyazmalarını elde etmişti. Bu makaleyi, yaklaşık on gün içinde inceledikten sonra, sıra değiştirilemeyişin (=noncommutation) asıl yeni düşünce olduğu sonucuna ulaştı. Dirac şunları yazmıştı:

(Ç.N. 65) Dirac, 20 Ekim 1984'de Florida'da (ABD) ölmüştür.

Çoktandır iyi anlaşılmış olan devinbilimin yasaları ile bu yeni genel bağıntılar arasındaki ilinti üzerinde bir süre bocaladım. Bu süre içinde Pazarları tek başıma uzun yürüyüşlere çıkarak bu sorunlar üzerinde düşünüyordum. Bu yürüyüşlerin birinde, A çarpı B eksi B çarpı A komütatörünün, klasik devinbilimdeki denklemlerin Hamilton'cıl biçimde formüle edildiğinde ortaya çıkan Poisson parentezlerine benzediğini birden farkettim. Fark eder etmez de havaya zıpladım. Ama hemen ertesinde Poisson parantezlerinin ne olduğunu çok iyi bilmediğim gerçeği ile kendime geldim. İleri dinamik kitaplarında hakkında birşeyler okumuştum gerçi, ama çok fazla da yararlanmamıştım ve okur okumaz aklımdan silinip gittiği için de ne olup olmadıklarını çok iyi anımsıyamıyordum. Poisson parantezlerinin komütatöre gerçekten karşılık gelip gelmediğini kontrol etmem gerekli olmuştu, Poisson parantezlerinin tam tanımına ihtiyacım vardı.

Eve koştum ve tüm kitaplarımlarımı ve makalelerimi taradım ama Poisson parantezlerini kaynak gösterene rastlamadım. Kitaplarım çok temel düzeydeydi. Günlerden Pazar olduğu için kütüphaneye de gidemezdim; o gece sabaha dek sabırsızlıkla beklemek zorundaydım ve ertesi sabah erkenden, kütüphaneler açıldığında, gittim ve Poisson parantezlerinin gerçekte ne olduklarına baktım ve gördüm ki tam beklediğim gibiydi; bir Poisson parantezi içinde bir komütatör arasında ilinti kurulabilirdi. Böylelikle insanların yararlandığı sıradan klasik devinbilim ile Heisenberg'in getirdiği sırası değiştirilemez nicelikleri içeren yeni devinbilim arasında çok yakın bir bağlantı sağlanıyordu.

Bu ilk düşüncelerden sonrası epeyce kolaydı. Gerçekten, uzun süre ciddi sorunlarla karşılaşmadım. Hamiltoncıl biçimde yazılan denklemlerin genelleştirilmesi yapıldıktan sonra, yeni devinbilimin denklemleriyle işgörülebiliyordu. Ben bu çalışmayı geliştirirken Heisenberg ve onunla birlikte çalışanlar Göttingen'de matris görüşünü bağımsız olarak geliştirmekteydiler; arada bir haberleşirdik ama esas olarak bağımsız çalışıyorduk. [Proceedings of the International School of Physics, *"Enrico Fermi", cilt 57, s 134]*

Paketçik devinbilimin Dirac biçiminin temelinde yatan bazı sayılar vardır. Dirac, bunları sıradan *c*-sayılarından ayırt etmek için *q* - sayıları diye adlandırdı; *q* - sayıları sırası değiştirilemezlik cebir kurallarına uyar ve Heisenberg matrislerine ve Schrödinger işlemcilerine (=operators) yakından bağlantılıdır. *q* harfi 'quantum'u, *c* harfi de 'classical' sözcüklerini simgelemektedir.

Böylece Dirac, paketçik devinbilimin, çağdaşlarınınkinden bir çok açıdan daha genel ve tam bir formülasyonunu, 1925 gibi erken bir tarihte gerçekleştirmeyi başardı. Belitsel (=axiomatic) formülasyonu ve bunun yol açtığı genelleştirme dikkat çekicidir.

1932'de Dirac Cambridge Üniversitesi'nde,18. yüzyılda Newton'un sahip olduğu Lucasian Profesor of Mathematics kadrosuna atandı ve emekliliğine dek burada kaldı. Oldukça suskun bir kişilikti, araştırma makaleleri ve *The Principles of Quantum Mechanics*

adlı kitabıyla çok derin etkiler yarattı. Yazıları, okumak için çoğunlukla yoğunlaşmış bir çaba gerektirecek ölçüde bilinçli ve derindir. Sanırım güvenilir olan şu kısa öykü onu tanımaya yardımcı olabilir. Bir seminerin sonunda, hep olduğu üzere, Dirac herhangi bir soru olup olmadığını sormuştu. Dinleyicilerden biri, kendini tehlikeye attı ve denklemleri göstererek "A'dan B'ye nasıl geçtiğinizi anlamadım." dedi. Dirac sakince yanıtladı "Bu bir açıklamadır, soru değil."

Erwin Schrödinger

Göttingen, Kopenhag ve Cambridge fizikçilerinden habersiz, Zürih'te Erwin Schrödinger (1887-1961) adlı bir fizikçi daha paketçik devinbilimi keşfetmekteydi, ama başka bir biçimde. Viyana doğumlu olan Schrödinger (Resim 8.6), sağladığı başarılar yüzünden, haklı olarak epeyce ünlenmişti. Sanatçı yaratılışlıydı ve açık ve kolay yazardı. Avusturyalı babası oldukça kültürlü bir çelebiydi; bitkibilim ve kimya dahil birçok bilimsel konuda bilgi sahibiydi; annesi İngilizdi. Erwin, Boltzmann'ın anısı ve ruhunun hala canlı olduğu Viyana'da eğitim gördü. Schrödinger'in öğretmeni, Boltzmann'ın öğrencisi ve gelecek için büyük umut veren bir fizikçi olan Fritz Hasenoehrl'di. Ne yazık ki Hasenoehrl Birinci Dünya Savaşı'nda öldürüldü. Bu savaşta Schrödinger de Avusturya ordusunda çarpışmıştı. Arkasından çeşitli üniversitelerde çalıştı ve sonunda, anıtsal çalışmasını gerçekleştirdiği Zürih Üniversitesi'ne yerleşti. De Broglie'nin düşüncelerinden ve Debye ile Einstein'ın bunlara dair yaptığı bazı yorumlardan etkilenerek, doğru dalga kuramını geliştirdi. Başlangıçta herşeyi görelilik bakış açısıyla ele aldı, ama bulduğu sonuçlar deneysel gerçeklerle uyuşmadı; cesareti kırıldı ve araştırmayı geçici olarak bıraktı.

Birkaç ay sonra konuya geri dönen Schrödinger, göreli olmayan bir yaklaşım kullandı ve deneysel verilerle uyuşkun sonuçlar elde etti. Görelilik kuramının uymayışının nedeni, elektron bükümünü hesaba katmayışıydı. O zaman büküm düşüncesi henüz çok yeniydi kuramcılar alışık değildi.

Çalışmasını Ocak 1926'da yayımladı [*Annalen der Physik 79,* 361 (1926)] ve ünlü Schrödinger denklemini yazdı:

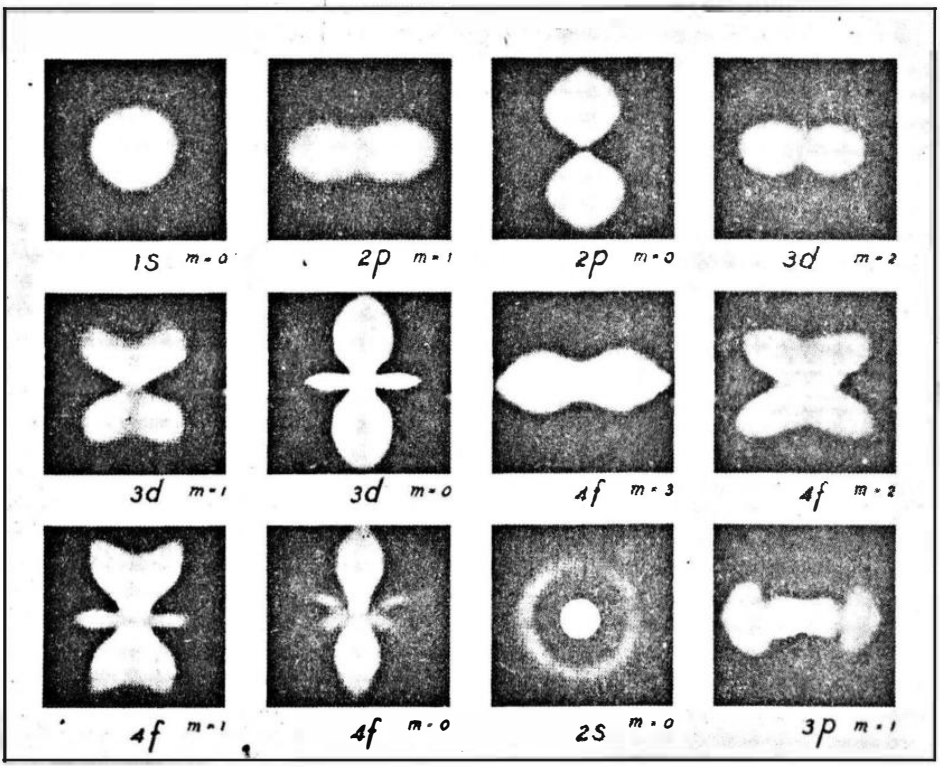
$$\nabla^2 \psi(x,y,z) + \frac{8\pi^2 m}{h^2} [E - U(x,y,z)] \psi(x,y,z) = 0$$

Bu denklemin, dalgalar konusunu bilen önceki fizkçilere yabancı gelmeyecek bir biçime sahipti. Gerçekten, bu denklem, tüm dalga devinimleri için tipik bir denklemdir: Ses dalgaları, elektromanyetik dalgalar ve diğerleri hep Schrödinger'inkine benzer matematik denk-

Resim 8. 6 Erwin Schrödinger (1887-1961) paketçik devinbilimin dalga türünü formüle etmiş, adıyla anılan denklemi bulmuştur. Buldukları, birçok olguyu açıklayan çok yönlü ve araçlardır. (W. L. Scott'un izniyle.)

lemleriyle ele alınır. Dahası, Schrödinger'in makalesi basılmadan az önce, Göttingen'den iki ünlü matematikçi Richard Courant ve David Hilbert, Schrödinger'in makalelerini anlamak için gerekli tüm temel desteği içeren Methoden der Mathematischen Physik adlı bir kitap basmışlardı. Aslında, Schrödinger'in kendisi de, denklemlerinin özel durumundan kaynaklanan problemlenlerin çözümünü Courant ve Hilbert'in kitabında bulmuştu.

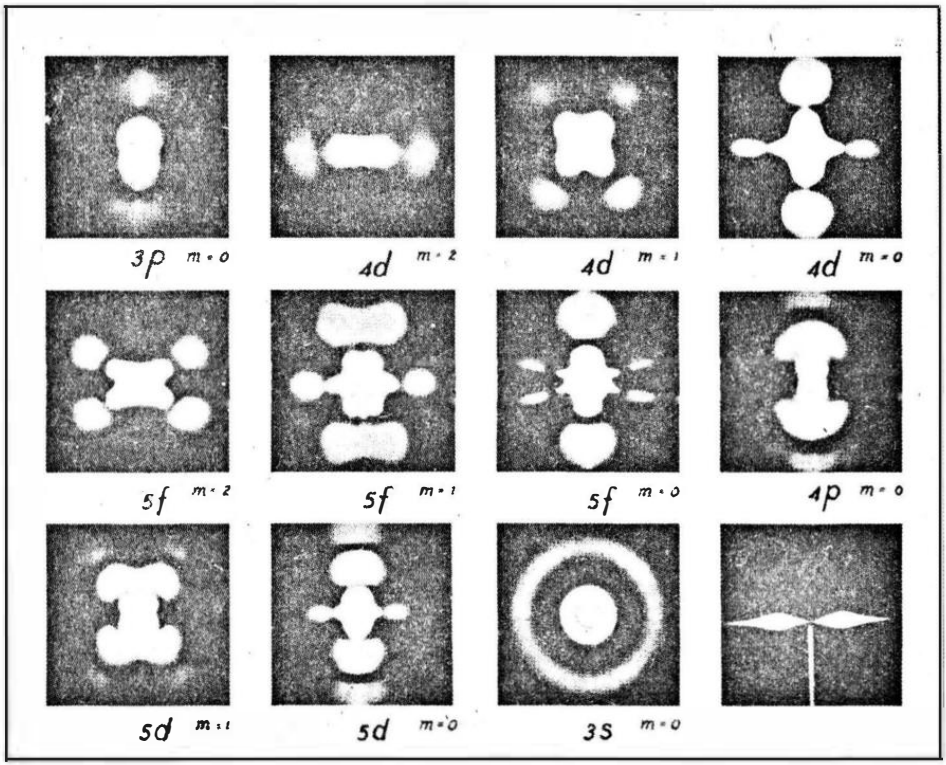
Schrödinger denklemindeki $\nabla^2 (= \partial^2 / \partial x^2 + \partial^2 / \partial y^2 + \partial^2 / \partial z^2)$ terimi Laplace işlemcisi, E sistemin enerjisi ve $U (x, y, z)$ de sistemi tanımlayan potansiyel enerjidir. Örneğin, hidrojen atomu için $U (x, y, z) = Ze^2 / r = Ze^2 / \sqrt{(x^2 + y^2 + z^2)}$ biçimindedir. $\psi (x,y,z)$ fonksiyonuna *Schrödinger ölçeği* (=scalar) demişti. Bu terimin yorumu ileride tar-



Resim 8.7 Schrödinger'in, hidrojen atomunun durağan konumlarına karşılık gelen elektron bulutları. "Elektron yoğunluğu" yani atomun özel paketçik sayılarıyla tanımlı düzeylerinde bir elektronun herhangi bir noktada bulunma olasılığı olan $|\psi|^2$ yi gösterirler. İlk sayı toplam paketçik sayısı olan n dir (Ç.N. 66); tarihsel nedenlerle s, p, d, f harfleri $h / 2\pi$ birimi cinsinden açısal momentumun değerini gösterir ve sırasıyla $l = 0$, $l = 1$, $l = 2$ ve $l = 3$ koşuluna karşılık gelirler. m manyetik paketçik sayısıdır, atomun yönelimini verir. [Kaynak; H. White, *Physical Review*, 37, 1416

tışılacaktır. Schrödinger denklemi ancak E özel değerleri için "kabul edilebilir (=acceptable) çözümler", yani $\int |\psi(x, y, z|^2$ dx dy dx integralinin sınırlı olduğu çözümler verir. Bu çözümlere *özdeğerler* (=eigenvalues) denir ve bu değerlerin bütünü bir tayf tanımlar. Hidrojen örneğinde, Bohr enerji düzeylerine eşit basamaklı bir tayf ve artı enerji sürekliliği elde edilir. Böylece otomatik olarak paketçiklenme ortaya çıkar. Enerji düzeyleri, titreşen bir telin frekanslarına yani telli çalgıların çıkardığı tınılara benzer.

(Ç.N. 66) Bu niceliğe günümüzde temel (=principal) paketçik sayısı denmektedir.



Schrödinger'in makaleleri bir dizi anıt gibi, Planck'ın ve Einstein'n da anıtsal buluşlarını yayınlayan, *Annalen der Physik*' de basıldı. "Özdeğer Problemi Olarak Paketçiklenme" ortak başlığını taşıyorlardı ve hemen evrensel dikkat ile hayranlık uyandırdı. Schrödinger, Einstein, Planck ve öteki aydınlatıcılar arasındaki mektuplar bunun en sağlam kanıtıdır. Planck Schrödinger'i bir seminer vermesi için Berlin'e davet etti; bu, aynı zamanda, paketçik devinbilimin kesin ve tutarlı bir biçimini nihayet görerek sevinen ileri yaşlardaki Planck'ı ziyaret anlamına da geliyordu.

Niçin Schrödinger'in başarısı, Heisenberg'in daha önceki alçak gönüllü onaylanmasına kıyasla bu denli çabuk ve evrensel olmuştu? Bunun bir nedeni, Schrödinger'in matematiğinin fizikçilere tanıdık gelen bir türde oluşuydu kuşkusuz ve yönteminin tümü matematiksel açıdan klasik dalga kuramından da farklı değildi. Genç Fermi bile Heisenberg'in görüşlerini kavramakta zorlanmıştı; ama, Schrödinger'in makalelerini tersine, daha yayınlanır yayınlanmaz arkadaşlarına ve öğrencilerine açıklayacak kadar çabuk özümsemişti.. Fermi'ye engel olan, üzerinde kolayca ustalaştığı Heisenberg'in matematiği değil, fiziksel görüşleriydi. Schrödinger'in başarısının başka bir nedeni de, yöntemlerinin somut pratik problemlere Heisenberg'inkinden çok daha kolaylıkla uygulanıp bu yüzden deneylerle karşılaştırılabilir olmasıydı.

Yine de büyük bir sorun çözülmeden duruyordu. O dalga gibi yayılan gizemli ölçek ψ nedir? Bir süre için Schrödinger gibi başkaları da bir kompleks (=complex) sayı olan ψ' ın modülüsünün (Ç.N. 67) karesini, bir bulut gibi çözünmüş elektronun yük yoğunluğu olduğunu düşünmüşlerdi. Yine de bu yorumlama epeyce kuşku yüklüydü çünkü elektronun çok küçük bir uzay parçasına, neredeyse bir noktaya yoğunlaşmış olduğuna inanmak için yeterli neden vardı. Resim 7.5'de Bohr'un yörüngelerini, Resim 8.7'de de hidrojen atomu için Schrödinger'in elektrik bulutları görülmektedir; ama hiç biri de gerçek değildir aslında. Biricik sağlam kavram bağıntılarda içsel olan matematiksel soyutlamadır. Bağıntılar, deneysel koşullara uygulanacak biçimde tercüme edilebilir; öteki kavramlar tercüme edilemez.

Schrödinger'in kuramı Kopenhag'da hayranlık uyandırmış ama ψ yorumu kabul görmemişti. Bohr Schrödinger'i, kuramıyla ilintili sorunları tartışmak amacıyla davet etti, yorumuna yönelttiği eleştiri ve itirazlarlarıyla da onu epeyce rahatsız etti. Uzadıkça uzayan tartışmalar öylesine yorucuydu ki, sonunda Schrödinger tükenip hastalandı ve kalmakta olduğu Bohr'un evinde yatağa düştü. Bu durum, evsahibinin Schrödinger'le tartışmasını yatak odasında sürdürmesini engellemedi. Bohr'un arkadaş canlısı olduğunu anımsayın, kibar ve konuğunun sağlığıyla ilgilenecek kadar samimiydi, ama fiziğin bu denli yaşamsal bir sorunu karşısında kendini kontrol edememişti.

Schrödinger'in sonraki yaşantısı, yaşadığı dönemin aynasıdır. Berlin'de Planck'ın yerine geçti, ama 1933'de Nazizmin gelişmesiyle Almanya'dan ayrılıp Oxford'a gitti. Tedbirsizlik edip 1936'da ülkesi Avusturya'daki Graz'a, Hitler Avusturya'yı Alman topraklarına kattıktan sonra, adeta kovulmak için geri döndü. Roma'ya, kurtarabildiği tüm eşyasını içine koyduğu bir sırt çantasıyla geldi. Fermi'yle görüşerek, kısa bir süre için bir yurt, bir sığınak bulduğu Vatikan'a götürmesini rica etti. Oradan da, 1955'e dek kalacağı Dublin'deki İleri Araştırmalar Enstitüsü'ne geçti. Dublin'de, biyofizikçilerde önemli etkiler yaratan "Yaşam Nedir" adlı bir kitapçık yazdı. Sonra Viyana'ya döndü ve 1961 yılında orada öldü.

ψ konusuna geri dönelim. Bu terimin kullanımı ve bilmecemsi yapısı, Debye'nin genç çalışma arkadaşı Walter Hückel'in yazdığı şu dörtlükte çok güzel anlatılır:

Erwin with his psi can do
Calculations quite a few.
But one thing has not been seen
Just what does psi really mean.
(Felix Bloch'un çevirisiyle) (Ç.N. 68)

(Ç.N. 67) C=A+Bi gibi kompleks bir sayının modülüsü, A2 + B2 nin kare köküdür. Burada i, sanal sayı olup -1 sayısının kare köküne eşittir.

(Ç.N. 68) Yunanca adı 'psi' (okunuşu, psay) olan ψüzerine yazılmış bu dörtlük dilimize şöyle çevrilebilir: Erwin psay ile az da olsa / Birkaç hesap yapabiliyordu / Ama görülmeyen de bir şey vardı / Tam olarak psayın ne anlam taşıdığı.

ψ 'nin anlamı, Max Born 1926'da elektrik değil olasılık yoğunluğu olarak yorumlayınca açıklık kazanmaya başladı; yani $|\psi(x, y, z)|^2 d\tau$, elektronun x, y, z koordinatlarındaki $d\tau$ kadarlık bir oylum ögesi (=volume element) içinde bulunma olasılığıdır. Doğal olarak bu görüş, atomil olgularda olasılığın rolünü Einstein A ve B'si ile (Ç.N. 69) biraz gölgelemiş olmasına karşın, ürkütücü sorunlara yol açtı

Büyük bir engel, Schrödinger, genç Amerikalı Carl Eckart ve başkalarının birbirinden bağımsız olarak, Heisenberg ve Schrödinger kuramlarının matematiksel aynılığını fark etmeleriyle aşıldı. Schrödinger denkleminin özel bir problem için nasıl çözüleceğini bilen herkes Heisenberg matrislerini de hesaplayabilirdi, ya da tersi. Bu tıpkı aynı problemi geometrik ve analitik yollardan çözmeye benziyordu. Demek ki, dalga devinbilim ile *Matrizenmechanick* eşdeğerdi; hayır, aynı şeylerdi.

Dirac'ın kuramı da, Heisenberg'in ve Schrödinger'in kuramına eşdeğerdir. Her üçü için, paketçiklenmeyi yaratan temel bağıntı şudur;

$$p\,q - q\,p = \frac{h}{2\pi i}$$

Heisenberg için p ve q matrisdir; Schrödinger için q bir sayıdır ve p bir türevsel işlemcidir

$$p = \frac{h}{2\pi i}\,\frac{\partial}{\partial q}$$

Dirac için p ve q, sıra değiştirilemezlik cebirine uyan özel sayılardır. Somut bir problemin bu yöntemlerden herhangi biriyle yapılan hesaplamasının sonuçları eşdeğerdir.

Eşitliklerin Anlamı

Matematiği yorumlanması, çok daha zor bir sorundur. Madde ve ışığın her ikisi de hem madde hem de ışığın bazı özelliklerini gösterir. Burada sözünü ettiğimiz, makroskopik parçacık ve makroskopik dalgalardır. O zaman şunu sorabiliriz, Işık bir dalga olayı mıdır yoksa ışık parçacıklardan mı oluşmaktadır? Benzer bir soru da, örneğin bir elektron için sorulabilir.

(Ç.N. 69) Lazerin temel çalışma ilkeleriyle de ilintili bu terimlere s.95'de değinilmişti.

Böyle soruları yanıtlamak için Einstein'ın 1905'de, basitmiş gibi görünen eşzamanlılık kavramının nasıl irdeleneceğini gösterdiği ve o şaşırtıcı sonuçlara ulaştığı sırada ileri sürdüğü yöntem ve düşünce yollarına başvurmalıyız.

Heisenberg'in ünlü 1927 makalesinde ilk kez gösterdiğine benzer yöntemler kullanarak da bir parçacığın yörüngesi ya da klasik dalga kavramı gibi eski kavramların mikroskopik nesnelere uygulanmaya çalışılmasında nasıl yıkıldığını görebiliriz. Bazı özel deneyler yaparak, bir dalga ile uğraştığımızı "gösterebiliriz", ama o zaman bir tanecikle uğraştığımızı göstermemizi gerektirecek deneyleri aynı parçacık üzerinde yapamayız, ya da tersi. Bu ikilemin altında paketçiklenme koşulları yatmaktadır.

Bir parçacığın yeri ve momentumunu aynı anda belirlemeye kalkıştığımızda, bir parçacığın ikili karakterinden - tanecik ve dalga - kaynaklanan çelişkilerle karşılaşırız. Bu zorluğu betimlemek üzere Heisenberg, bu ölçümlerin, elektron gibi bir parçacığın ikili karakteri (dalga ve tanecik) yüzünden olanaksız olduğunu gösteren bir çok deney tasarlamıştı. Sonucun dyarlılığı, Heisenberg'in bulduğu ünlü belirsiklik ilkesi tarafından sınırlandırılmaktadır. Koordinat ölçümününü etkileyen kaçınılamaz hataya Δq ve momentum ölçümündeki türdeş hataya da Δp dersek, şu bağıntıyı elde ederiz

$$\Delta p \, \Delta q \simeq \frac{h}{2\pi}$$

Hata deyimi, kuşkusuz, kullanılan aygıtların eksikliğinden kaynaklanan yanlışlıklar değil, bir dalganın bir yarıktan saçılımı ya da bir ışıma paketçiğinin geri tepmesi gibi olgulara içsel ölçülemezlikler anlamındadır.

Belirsizlik eşitliği $pq - qp = h / \pi i$ paketçik koşuluna sıkı sıkıya bağlıdır. Belirsizlik ilkeleri, sadece matrisleri yer değiştirilemez olan büyüklükleri bağlar. Heisenberg'in, bu düşüncelerine yer verdiği çığır açan makalesi, Bohr tarafından sevinçle karşılanmıştı; Bohr'da, kendisine bir mektupla bildirilen bu kuramı alkışlamıştı.

İnsan boyutlarında nesnelerle ilgilendiğimiz günlük yaşantımız sırasında, belirsizlik ilkesince konmuş sınırlamaları algılayabileceğimiz hiçbir fırsat yoktur, bu nedenle de fark edemeyiz. Makroskopik bir nesneyi gözlerken, davranışı üzerinde yarattığımız etki tümüyle ihmal edilebilir, bu da belirsizlik ilkesince konmuş mantıksal kısıtlamaları kaçırmamıza yol açar. Benim gözüme gelen (ve böylece nesneyi algımamı sağlayan) paketçiğin yayımlanışı sırasında ortaya çıkan geri tepme, yayımlayıcı ne denli küçük bir kristal parçası olursa olsun, önemsizdir. Dolayısıyla, yaptığım gözlemin momentum üzerinde yaratacağı değişiklik konusunda endişelenmeme gerek kalmaz. Ama, yayımlanan parçacık bir atomun elektronu ise, geri tepme, ondan sonraki devinimi etkileyecek denli büyüktür ve böylece gözlem, gözlenen nesnenin durumunu bozar. Böylesi durumlarda, koordinat ve momentum ölçümlerinde kullanılan süreçlerin eleştiren incelenmesi bizi belirsizlik ilkesine götürür.

Bu gerçeği en iyi, bir örnekle anlayabiliriz. Varsayalım ki, eşdeğer birçok sistemimiz var ya da aynı deneyi aynı sistem üzerinde birçok kez yapıyoruz. Teknik sınırlamaların ötesinde mükemmel araçlar kullanıyoruz. Yine de doğanın yasalarınca konmuş sınırlamaları görmezden gelemeyiz. Bir elektronun koordinatını birçok kez ölçüyor ve her seferinde q buluyoruz; q'nun ortalama değeri $\langle q \rangle$ olsun. Δq'yu şöyle tanımlarız $\sqrt{\langle (q - \langle q \rangle)^2 \rangle}$, yani q'nun sapma karesi ortalamasının kare kökü. p içinde benzer nicelikler tanımlayabiliriz. Şimdi de x yönünde a genişliğindeki bir yarıktan geçmekte olan bir elektronu gözlediğimizi varsayalım; demek ki $\Delta x = a$. Elektron, yarığa doğru ve yarık düzlemine tam dik olan y yönünde ve v_y hızıyla gönderilmiş olsun. Buna karşın, yarıktan geçişinden sonra elektron öncekine kıyasla farklı bir yöne sapabilir çünkü saçılıma uğramıştır. Böylece x yönünde de bir hız kazanabilir. Bu hız, yarık genişliği tarafından belirlenir ve yaklaşıklıkla $(\lambda / a)v_y$ değerine eşittir. λ yerine de Broglie dalgaboyu $h / m v_y$ koyarsak şunu elde ederiz.

$$\Delta x \ \Delta p_x = am \frac{\lambda}{a} v_y = h$$

Eğer yarığı inceltecek olursak a'yi küçültür ama aynı oranda Δp_x terimini büyütürüz. Sorunun kökü, özdeksel (=material) noktaların hem tanecik hem dalga gibi davranmasında yatmaktadır. Böylece, salt bir bakış açısıyla kesin tanımlama yapmanın olanaksızlığı sonucuna ulaşırız.

Enerjinin, Δt zaman aralığında ancak ΔE kesinliğiyle ölçülebileceğini söyleyen bir başka belirsizlik ilkesi daha vardır. Yani,

$$\Delta t \ \Delta E \sim h$$

Klasik fiziğin bilmediği bu sınırlamalara ek olarak ve onlardan kaynaklandığı üzere, paketçik devinbilimsel problemler, sıradan makroskopik formülasyondan çok farklı biçimde formüle edilirler. Örneğin, hidrojen atomu gibi devingen bir sistemimiz olsun (yalınlık amacıyla bükümü ihmal edeceğiz). Elektronun ikili karakteri nedeniyle ölçümlere hassas olmayan yörüngeler ya da başka kavramlar hakkında soru sormak boşunadır. Ama, enerji, ya da açısal momentum gibi ölçülebilir olanları sorgulayabiliriz. Kuram bize bir ölçümün sonuçlarının olası değerlerinin listesini verir. Hidrojen atomunun enerji düzeyleri için bunlar $-2\pi^2 mz^2 e^4 / h^2 n^2$ eksili değerleri ve tüm artılı değerlerdir. (Elektron atomdan çok uzakta ve durağansa, enerjisi sıfır olur.) Açısal momentum için olan liste, l artılı ya da sıfır olan bir

tamsayı olmak üzere lh / 2π değerlerini verir. Dahası, kuram özel koşullar altında listedeki özel değerlerden herhangi birini bulma olasılığını da verir. Öte yandan, klasik fizikteki benzer bir liste değerler sürekliliğini içerir ve hangi özel koşullar altında hangisini elde edeceğimizi kesinlikle belirliyebiliriz.

Fiziksel sorunların paketçik devinbilimsel formülasyonunun daha yoğun ve teknik özeti için Ekbilgi 10'dan yararlanabilirsiniz.

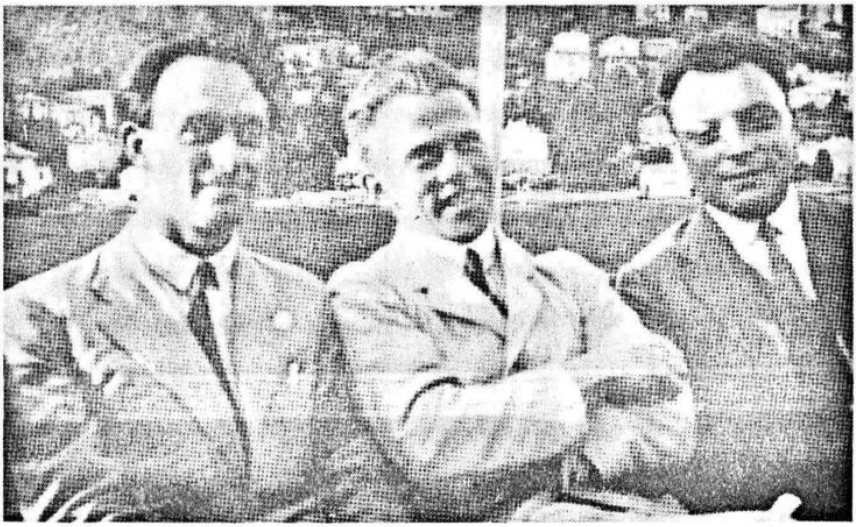
Gerçeğe Yeni Bir Bakış: Bütünleyicilik

Bohr daha sonraları paketçik devinbilimin temel düşüncelerini daha da derinleştirdi ve bütünleyicilik anlayışına erişti. İki büyüklük, birinin ölçümü ötekinin eşzamanlı hatasız ölçümüne engel oluyorsa bütünleyicidir. Benzer biçimde, biri öteki üzerine kısıtlama koyan iki kavram da bütünleyicidir. Tıpkı, dışında bırakma ilkesinin kesinlik içinde formülasyonunu yapmanın zorluğuna karşın Bohr'un düşünme biçiminin bir göstergesi olması gibi, bütünleyicilik de kesin bir kavram olmaktan çok bir düşünme biçimidir.

1930'da Heisenberg tüm bu eğilimler arasındaki ilintileri aşağıdaki gibi bir tabloda özetledi. [Heisenberg, *Physical Principles of Quantum Theory*].

Klasik kuram	Paketçik kuramı		
	I Seçenek	Bağlantısı	II Seçenek
Uzay - Zaman Betimi	Uzay - Zaman Betimi	Deneysellik	Soyut matematiksel şema - uzay-zaman betimi yok
Nedensellik	Belirsizlik ilkesi		Nedensellik

Paketcik devinbilimin, fiziksel problemlere getirdiği tipik yeni formülasyon ve paketçik devinbilimin yanıt örnekleri ilk bakışta doyurucu görünmeyebilir. Bunun temel nedeni, kafamızdaki günlük makroskopik deneyimlerimize dayalı sıradan sanıları andırmayışlarıdır. Ne var ki kuram, deneysel olarak gözlemlerin tanımladığı gerçekliğe sıkı sıkı yapışıktır. Bu yoldan düşünüş temelde olasılık kavramını ortaya çıkarır, hatta olasılığın raslantısal

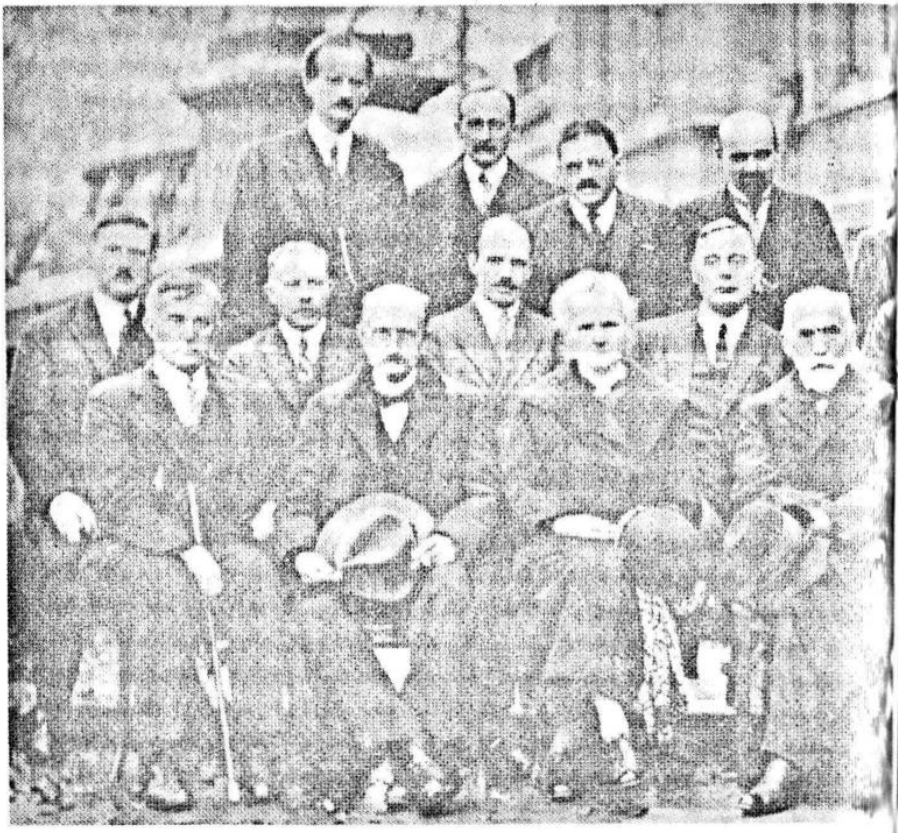


Resim 8.8 Soldan sağa: Fermi, Heisenberg, ve Pauli, 1927 yılında Como gölündeler. Heisenber belirsizlik ilkesi ve matris devinbilimi henüz keşfetmişti. Pauli, dışında tutma ilkesini henüz yeni keşfetmişti. Fermi de bu ilkeye dayalı olan istatistiği henüz yeni keşfetmişti. (F. Rasetti'nin koleksiyonu.)

olarak bir - başka deyimle, kesinlik - olduğu durumlarda bile. Tıpkı Einstein'ın özel göreliliğe dayalı uzay-zaman anlayışını 1905'deki irdelemesinde olduğuna benzer biçimde, düşünce alışkanlıklarımıza karşı çıkılmasını gerektirir.

Bu tür ani ve büyük değişikliklerden herkes hoşlanmaz. Einstein da, Bohr ve öteki Kopenhag ekolüne bağlı fizikçilerin geliştirdiği paketçik devinbilimi formülasyonu ve olasılıksal fiziğe karşı direnmişti. Bunlardan hoşlanmıyordu ve kuşkusuz deneysel gerçekle uyuşkunluğu ile mantıksal tutarlılığının farkında olarak, daha belirlilik içeren bir şeyin bütün bunların yerine geçebileceğini düşünüyordu. Gelgelelim, zamanın ilerlemesiyle, yeni kuşaklar paketçik devinbilime adapte oldular. Kuşkucu tavırlarını koruyanlar ise, çok ilginçtir, yeni doktrinin kurucularıydı; de Broglie, Schrödinger ve bir ölçüde Dirac.

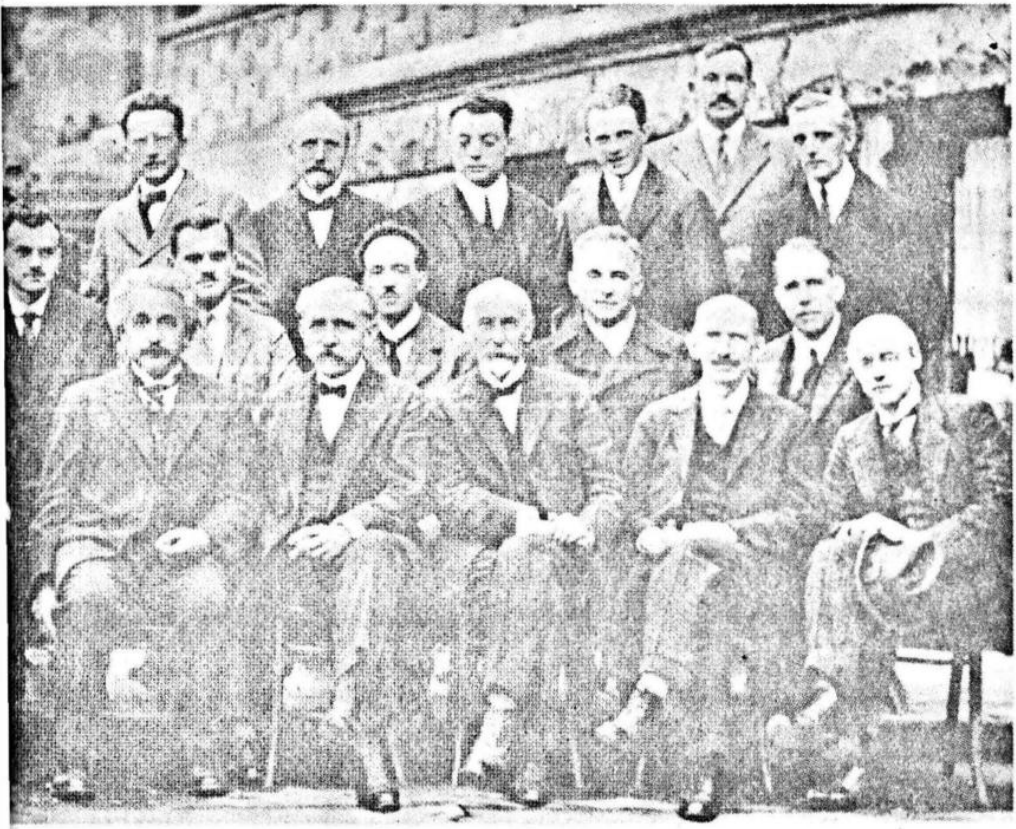
Paketçik devinbilimi, Volta'nın yüzüncü ölüm yıldönümü nedeniyle İtalya'nın bir kasabası olan Como'da (Volta Como'luydu) 1927'de düzenlenen Uluslararsı Fizik Konferansı'nda neredeyse bir resmi törenle açılmıştı. Dönemin birçok önemli fizikçisi, genç kuşaktan olanlarla birlikte oradaydı (Resim 8.8). Bohr, özellikle bilgi kuramıyla ilgili yönlerine ağırlık vererek, paketçik devinbilimi üzerine konuştu. Einstein'ın yeri doldurulamaz eksikliği göze çarpmaktaydı. Einstein Mussoli'nin hakimi olduğu toprağa ayak basmak istememişti. Ama, birkaç hafta sonra Brüksel'deki Solvay Konseyi'nde, paketçik devinbilimin tüm yetkeleri Heisenberg, Dirac, Pauli, Bohr, Born ve diğerleriyle birlikte yer alacaktı (Resim 8.9). Einstein orada, yeni kuramın temellerini yıkmaya girişerek, belirsizlik ilkesine karşı örnekleri oluşturmak için her yolu denedi. Her sabah Bohr'la kahvaltıda buluşacak ve çelişkili olduğunu düşündüğü dahiyane örnekler sunacaktı.



Resim 8.9 1927 Solvey Konseyi'ne katılanlar. Bu konsey paketçik devinbilime adanmıştı ve bu yeni alan, deyim yerindeyse, resmi törenle bu topantıda açılmıştı. Einstein ile Bohr arasında tartışmalar olmuştu. Ön sırada, soldan sağa: I. Langmuir, M. Planck, M. Curie, H. A. Lorenz, A. Einstein, P. Langevin, C. A. Guye, C. T. R. Wilson, O. W. Richardson. İkinci sıra, soldan sağa: P. Debye, M. Knudsen, W. L. Bragg, H. A. Kramers, P. A. M. Dirac, A. H. Compton, L. V. de Broglie, M. Born, N. Bohr. Ayaktakiler, soldan sağa: A. Piccard, E. Henriot, P. Ehrenfest, E. Herzen, T. De Doner, E. Schrödinger, E. Verschaffelt, W. Pauli, W. Heisenberg, R. H. Fowler, L. Brillouin. (Solvay Enstitüsü.)

Bohr, Einstein'ın eleştirisinde bir hata bulana dek uğraşıyor ama bulduğunda Einstein'ın hazırladığı yepyeni bir örnekle karşılaşıyordu. En ince ve en güç örneklerden biri de, Einstein'ın kendi yaratısı olan genel görelilikle çözülebilmişti sadece. Einstein sonunda karşı örnek bulamadığını kabul etti, ama Born'a özel bir mektupta yazdığı gibi, "Tanrı zar atmaz," inancını da korudu.

Heisenberg, Pauli, Dirac ve paketçik devinbilimin öteki kurucuları, kuramın gelişim sü-



recindeki uzunca belirleyici dönemi Bohr'un Kopenhag'daki enstitüsünde geçirdiler. Bohr ile ve kendi aralarında yaptıkları uzun tartışmalar düşünceleri arındırıp öğretinin kristalleşmesinde yardımcı oldu. Yakın temasları, üstesinden gelinen zorluklara ilişkin anılar ve ortak yaşam "Kopenhag ruhu" denilen grup ruhunu (=esprit de corps) yarattı. Böylesi çevrelerde sıkça olduğu üzere, buradaki ruh da belirli bir katılığa (=orthodoxy) dönüşme eğilimi göstermeye başladı. Yine de, bu katılık mutlak değildi, Bohr'un hemen herşeyinde olduğu gibi değişik çeşitlemeler içermekteydi. Bohr'un yumuşak hatları sevmesi boşuna değildi. Danimarka sislerini sevdiğini söyleyecek ve en beğendiği özdeyişi anacağım:

Nur die Fuelle fuehrt zur Klarheit *[Sadece doluluk arılığa götürür*
Und im Abgrund liegt die Wahrheit *Ve gerçekler uçurumun dibindedir]*

Bir de küçük bir öykü aktarayım Bohr hakkında, gerçi bu öykü onun kişiliğini ve mizacını yansıttığından birçok kez anlatılmıştır. Bohr'un tatilini geçirdiği bir yazlık evi vardı; kapısının üstünde de bir at nalı asılı dururdu. Konuklarından biri, biraz da şaşkınlıkla, atnalının uğur getirdiğine inanıp inanmadığını sordu. Bohr, şöyle yanıtladı "Hayır, ama ona inanmayanlara da uğur getirdiğini duydum."

1927'e dek paketçik devinbilimin hiçbir biçimi görelilik içermiyordu. De Broglie başta olmak üzere fizikçiler görelilikli bir kuram bulmayı istemişlerdi. Tüm girişimleri ya saçma sonuçlara varmış ya da deneysel gerçeklikten uzaklaşmışlardı.

Nihayet 1928'de, Dirac bir elektron için göreli dönüşümlerde değişmez kalan bir eşitlik yazmanın matematiksel yolunu buldu. Bulduğu başka birşey de; bir parçacığın yeni bir içsel özgürlük ölçütü olduğunu, matematiğin açığa çıkarttığıydı. Bu özgürlük ölçütü, elektron bükümünün, h /4π'lik değerinden başlayarak, tüm özelliklerine sahipti. Ayrıca e h / 4π m c'lik bir manyetik moment değeri vardı. Bu neredeyse mucizevi sonuç, Dirac'ın kuramına büyük bir güç kattı. Önceki görelili olmayan kuramlarda büküm ve manyetik moment, bilginin ayrı parçalarıyken burada herşey kendiliğinden ortaya çıkıyordu. Dahası da var. Dirac eşitliği salt elektronun değil ama elektronla aynı kütleye sahipken artılı yük taşıyan parçacıkların devinimini de betimliyordu. Bu tür parçacıklar, Dirac'ın kuramını formüle ettiği günlerde henüz görünmemişti. Dirac, bu istenmeyen parçacıkları proton olarak nitelendirmek istedi, ama ağır sorunlarla karşılaştı. Pauli, *Treatise on Quantum Mechanics*'inde "kuramın şimdiki biçimini kurtarmak için yapılan bu girişim, sonuçlarına bakınca ümitsizdir..." sözlerine yer verdi. İleride göreceğimiz üzere, artılı elektronlar gerçekten de vardır ve 1932 yılında kozmik ışınlarda gözlemiştir. Böylece, kuram içindeki bir aksaklık onun zaferine dönüşmüştür. Dirac'ın kuramı *spinor* denen ve 4-bileşenli vektörleri andıran yeni matematiksel araçlar gerektirir.

Dirac'ın kaleme aldığı bu makaleler sayesinde paketçik devinbilimin ana hatları ortaya konmuştu. Sonuç, doğanın klasik fiziğin yaptığından hem daha soyut betimlenmesiydi hem, de deneye çok daha yakındı.

Bilim dünyasıyla sanat dünyası arasında ilginç bir koşutluk görüyoruz. Dirac'ın sağlığı sırasında, İzlenimciler (=Impressionists) yeni bir boyama stili geliştirmişlerdi. Paketçik devinbiliminin kuruluş dönemi dolaylarında, Picasso gibi sanatçılar daha ileri soyutlamalara yönelmişler, örneğin iki yüzlü insan biçimlerine resimlerde yer vermişlerdi. Bir yüzün dalgasal, ötekinin de taneciksel olduğunu ileri sürmek yine de çok zordur.

Gizemler Açıklanır, Ama Kuşkular Kalır

Tüm fizik atılımları sadece genel kuramlar getirmekle kalmaz ama eldeki bazı deneyden bilinen, sadece garipliğiyle ve çoğun salt bunlar için konmuş öntezlerle ya da deneysel birtakım parametrelerle ele alınmış olguların anlaşılmasına da yol açarlar. Uygulamaların böyle çiçeklenmesi paketçik devinbiliminde de görülmüştü. Uygulamalar sözcüğüyle; tek-

nik uygulamaları kasdetmiyorum; bunlar sonra gelir. Benim sözünü etmek istediğim uzun süredir bilinip de anlaşıl(a)madan kalmış olguların açıklanmasıdır.

Helyum atomu kuramı Heisenberg'in ilk başarılarındandır. İçinde, beklenmedik birçok özelliğe ilk kez raslarız. Örneğin, helyum atomunda iki enerji düzey ailesi vardır ve birinden ötekine bir ışıma yayımıyla geçmek olasıdır. Sistemlerin birinde iki elektronun bükümleri birbirine koşuttur; ötekinde ise birbirine terstir. İki tür arasındaki enerji farkının, eski Bohr-tipi modellerde açıklamasını yapmanın hiç bir yolu yoktur. Ama Heisenberg dalga fonksiyonlarını ve enerjileri, olguyu yörüngesel bakış açısında kavramaya uğraşmaksızın paketçik devinbilimin kurallarıyla kolaycacık hesapladı ve doğru yanıtı buldu. Elektronların niteliğine bağlı olan enerji farkı, klasik yorumlaması mümkün olmayan olgulardan kaynaklanmaktadır.

Bu açıklamayı, moleküllerde örneğin hidrojen molekülündeki kimyasal 'homeopolar' bağlar kuramı izledi. Avagadro'nun zamanından beri hidrojen molekülünün iki atomlu olduğu biliniyordu, ama niçin iki hidrojen atomu birbirini çekerek bağlanıyordu da bir üçüncüsü bunlara bağlanamıyordu? Bunlar kuramsal kimyanın en basit sorularıydı ama 1927'ye dek hiç kimse yanıtlarını bilmiyordu. Heisenberg'in açtığı yolu izleyen Walter Heitler ve Fritz London, benzer atomların kimyasal bağlarının ilk kuramını ortaya koydular. Bu kuram bilimin tüm dallarına yayıldı ve zamanla harikulâde sonuçlar yarattı. Linus Pauling, bu gelişmelerin kimya alanındaki öncülerinden biriydi.

Birçok başka eski kuram, paketçik devinbilimin çılgınca saldırısı karşısında teslim oldu.. Çarpışma kuramını Born ele aldı ve ψ 'ın temel istatistiksel yorumunun ipuçlarını ortaya çıkardı. Dirac, aynı zamanda Fermi istatistiğini de yeniden bularak, Pauli'nin dışında bırakma ilkesinin çok derin bir yorumunu verdi. Yarı mıknatıslık (=paramagnetism) kuramını Pauli aydınlattı. Felix Bloch, periyodik bir potansiyel alanında bir elektron dalgasının nasıl hareket edeceğini hesaplayarak metaller kuramında dev bir adım attı. Heisenberg demir mıknatıslığını (=ferromagnetism) açıklayarak, demir gibi bu türden mıknatıslığı (=ferromagnetic) olan cisimler içindeki güçlü raslantısal manyetik alanların olgulara dayalı kuramını doğruladı. George Gamow ile Edward U. Condon da R. W. Gurney'den bağımsız olarak potansiyel engellerinin geçirgenliğini keşfedip, çekirdeğin alfa bozunumunun görünürdeki paradokslarına uyguladı. Bu sonuç, Rutherford'u derinden etkiledi, o denli yoğun matematiğe karşın o denli az sezgi içeren böylesi bir kuramdan kuşkulanmıştı.

Bir kaç yıllığına da olsa, günümüzün herhangi iyi bir lisans üstü öğrencisinden daha iyi olmadan paketçik devinbilimini anlamış ve yöntemlerini biliyor olmanın gerçek keşifler yapmaya yetebildiği bir dönemden geçiliyordu. Kuşkusuz, o günlerde paketçik devinbiliminin en temel ögelerinde ustalaşmak bile kolay değildi. Bu fırtınalı dönemden sonra sistemleştirme için büyük bir gereksinim doğacaktı. Özgün keşif makalelerinin çoğunlukla zor okunmasına karşın 1929'a doğru, çeşitli bakış açılarının daha düzenli olarak açıklandığı kitap ve kitapçıklar ortaya çıkmaya başladı. Dirac, Heisenberg, Jordan ve Pauli, konu hakkında ya bir kitap ya da bir kitapçık yazdılar. Bu çalışmalar, günümüz öğ-

melini oluşturdu. Sommerfeld bile, *Atombau und Spektrallinien*'e ek bir cilt yazdı.

Görelili olmayan paketçik devinbilimi günümüzde artık, hiç değilse prensipte, tamamlanmış bir disiplindir. Bir ölçüde üzerinde filizlendiği klasik devinbilimin muhteşem bir genellemesidir ve makroskopik cisimler için klasik kuramla aynı yanıtları verdiğinden, karşılık gelme ilkesini de doğrular.

Görelili paketçik devinbilimi biraz daha az gelişmiştir. Dirac'ın kuramı 2 bükümlü parçacıklar için geçerlidir; öteki bükümler için güçlükleri vardır. Ama, önceden belirlenmiş bir elektromanyetik alan içindeki 2 bükümlü parçacıklar için bile sorun çıkmaktadır. Yine de, ıraksak çıksa da, bir tedirgi (=perturbation) kuramı geliştirmek olasıdır. Yüksek enerjilerde bir kesme (=cut off) koyarak durumu kurtarabiliriz, ama bu görelilik değişmezliğini (=relativistic invariance) bozar. Bununla birlikte, hassaslıkta neredeyse uç noktalara ulaşırız, örneğin elektronun ya da müyonun (=muon) manyetik momenti trilyonda 0.3'lük hassaslığa dek hesaplanabilir. Sonuç, deneylerle trilyonda 0.2'lik bir hata payı içinde uyuşmaktadır.

Yine de, Dirac 1972'de paketçik devinbilimin gelişmesi üzerine düzenlenen bir konferansı şu sözlerle kapatmıştı:

> *Şimdi, bu durumda ne yapabiliriz? Açık olmak gerekirse, bana öyle geliyor ki, paketçik devinbilimin temel yasalarına henüz sahip değiliz. Görelili bir kurama sahip olmadan önce, bugün kullandığımız yasalarda önemli değişiklikler yapmamız gerekecek. Şimdiki paketçik devinbiliminden geleceğin görelili paketçik devinbilimine yapılacak değişiklik, Bohr'un yörünge kuramından şimdiki paketçik devinbilime yapılmış değişiklik kadar şiddetli olacağa benzer. Bu denli şiddetli değişiklik yaparsak, kuramın fiziksel yorumuna ilişkin düşüncelerimiz onun istatistiksel hesaplamalarıyla birlikte değişikliğe uğrayacaktır kuşkusuz. [Dirac,* The Development of Quantum Mechanics," *Acc. Naz. Lincei, Roma, 1974]*

9

Harika Yıl 1932: Nötron, Pozitron, Döteryum ve Diğer Buluşlar

1900'de Planck'ın makelesinin yayınlanmasından 1913'de Bohr'unkine dek paketçik devinbilimi, göreceli olarak az sayıda fizikçinin uğraşıydı. Öte yandan, 1913'den kuramın tamamlandığı 1928'e dek, Rutherford'un çevresindekiler ayrı tutulabilirse de, yeni fizikçiler kuşağının tüm kuvvetini emdi. Deneysel destek olmadan hiçbir şey ayakta duramazdıysa da, bu dönemde kuram deneye baskın çıktı. Ürkütücü kuramsal sonuçlara inanmak için, sağduyu denilen makroskopik nesnelere dayalı günlük deneyimlerden oldukça farklı, deneysel gerçekler mutlak gerekliydi. Stern-Gerlach deneyi böylesi bir dönüm noktasıydı.

Dirac'ın 1928'deki görelili elektron kuramından sonra, fizikte bir dönüm noktasına erişildiği düşünülmeye başlamıştı. Böyle bir sezginin sonradan hayal edilmiş değil o dönemde gerçekten var olduğu, örneğin, o zamanın Roma Üniversitesi Fizik Enstitüsü yöneticesi olan Profesör Orso Mario Corbino'nun (1876-1937) ilginç bir konuşmasında tanıtlanmıştı. Bilimsel Gelişme için İtalyan Birliği, (=The İtalian Society for the Advancement of Science) konuya ilgili meslek dışı insanları çeşitli bilimlerde neler olduğu konusunda bilgilendirecek yıllık toplantılar düzenleme çabasına girişmişti. Fermi, E. Persico ve başkaları, yeni fizik üzerine tekrar tekrar konuşarak sonuçlarını İtalyan halkına anlatmaya çalıştılar. 1929'da Corbino, gelecekteki fiziğin daha genel sorularını irdelemeye karar verdi ve Fermi ile geniş danışmalardan sonra 21 Eylül 1929'da, çeşitli özellikleriyle yalvaçsı (=prophetic) olan, "Deneysel Fiziğin Yeni Amaçları" başlıklı konuşmasını yaptı. Buraya, o konuşmadan bazı alıntılar aktarıyorum:

Kuramı zamanın gerisinde kalmış araştırma alanlarından birisi, katı ve sıvıların atom düzenliliğinin mekanizmasıdır. Molekülsel yapışma kuvvetinin elektrik kaynaklı olduğu ortaya konmuştur. X-ışınları kullanılarak yapılan inceleme, kristal düzenindeki atomların ya da atom gruplarının düzenliliğini neredeyse görebileceğimizi öğretmiştir. Ama atom-elektron bütünlüğünün fiziksel şabitlerinin sayısal öngörüsü açıkça yeni başlamaktadır. Dolayısıyla bu alanda çalışma yapacak kuramsal fizikçilerin sayısı epeyce fazla olacaktır. Ayrıca, deneysel alan tükenmiş değildir. Çözülmemiş eski bir sorundan söz edeyim. Atom-elektron bütünlüğünün yapısı içinde, doğada kendiliğinden oluşan bazı değişiklikleri bir araya getirebilecek olsak, bilimin de ilgi duyduğu üzere, örneğin kömürü elmasa dönüştürebiliriz. Maddenin katı ve sıvı halleri, yüksek basıncın etkileri ve çok yüksek ve çok düşük sıcaklıklarla ilgilenen fizik, demek ki bugünün ve geleceğin kuramsal ve deneysel fizikçileri için gelecek vaad eden bir alan olarak değerlendirilebilir. Ayrıca, uygulamalar pratik açıdan son derece önemlidir.

Şimdi fizik araştırmalarında en yüksek kategoriye geliyoruz: elektrik akımı ve onun x-ışını ve ışımaetkinlik gibi, bir zamanlar yeni olan etkileri türünden yeni olguların keşifleri. Uzun uzun düşündükten sonra, cesaret üstü görünecek, bir kaygımı dile getirmekte bir an bile tereddüt etmiyorum. Öyle inanıyorum ki, modern fizik, yeryüzünde deneyle üretilip geliştirilebilecek olası olayların temel bilgisine artık sahiptir. Öyleyse, atom çekirdeğinin yapay yollardan değiştirilmesi hariç (bu konuya kısaca geri döneceğim), çocuklarımız ve torunlarımız fizikte yeni ve büyük keşifleri paylaşma olanağını bulamayacaktır. Onlar, elektriksel bilimin doğuşunu, ya da optiğin ilerlemesini, ya da yeni ışımaların keşfini yaşamayı paylaşamayacaklardır.

Öyleyse, fizikte büyük keşifler yapmanın tek yolu, atomun içsel çekirdeğine saldırabilme şansında yatmaktadır. Bu, geleceğin fiziğinin değerli bir görevidir.

... Böylece Rutherfor'un deneyleri bize kimyasal elementleri yapay yollardan dönüştürmenin mümkün tek olasılığını göstermiştir. Yine de, etki o kadar az sıklıkla ortaya çıkmıştır ki, bozunma durumlarına tek tek, atom atom rasgeliriz. Kimyasal yoldan saptanabilecek miktarda hidrojen biriktirebilmek için, demek ki, binlerce yüzyıl beklememiz gereklidir.. Besbelli Rutherford'un saldırı yöntemi, bugün elimizdeki en enerjiği olsa da, ihtiyaçlarımızı karşılamak için hâlâ yetersizdir. Atoma bir başka yoldan saldırmak mümkün olacak mıdır?

... Sadece teknik ve finansal sorunlar, ki prensipte aşılabilir, bu büyük projenin önünde durmaktadır. Amaç sadece kimyasal elementlerin fark edilebilecek kadar dönüştürülmesi değil ama aynı zamanda, bazı durumlarda atomların parçalanmasıyla ya da birleşmesiyle ortaya çıkan muazzam enerji içeren olayların da gözlenmesidir.

Çeşitli elementlerin çekirdeği, daha önce söylediğimiz gibi, protonlar yani hidrojen çekirdekleri ve elektronlardan oluşur. Bununla birlikte, bir kaç protonluk kombinasyonlarda, örneğin helyum çekirdeği yapmak için gereken dört tanede, bileşiğin

kütlesi, dört protonun aşırlıklarının toplamından biraz daha azdır. Ağırlıktaki bu azalmaya çekirdeğin kütle eksiği denir. Relativite teorisinin gerektirdiği üzere, bu kütle azalması muazzam miktarda bir enerjinin açığa salınmasıyla dengelenir. Böylece, helyum çekirdeğinin dört protondan oluşması sırasında, oluşan her bir gram helyum için yaklaşık bir buçuk milyar büyük kalori üretilmiş olacaktır, yani iki milyon kilowat saat. Doğaldır ki, olayın tersi, yani bir gram helyumu hidrojene parçalamak aynı miktar enerjiyi vermemizi gerektirecektir. Bu çekirdek olaylarında, vurgulanmasına bile gerek olmayan, üstün derecede önemli olan, dönüştürülen maddenin her gramı için 25 milyon kilowat saat karşılığında maddenin enerjiye ya da tersinin dönüştürülmesidir.

Öyleyse şöyle bir sonuç çıkartılabilir, deneysel fiziğin alelâde sahasında büyük atılım beklenmezken, atom çekirdeğine saldırmakla birçok olasılıklar açılır. Bu, geleceğin fiziğinin en çekici alanıdır. Genel ilerleme içinde yer alabilmek için, ya şimdiki eğilimde ya da geleceğin işaret etmiş olduğum yönünde, deneysel fizikçiler için kuramsal fiziğin kesin bir şekilde kavranışı ve de büyüyerek artan miktarlarda deneysel araçlara ship olmak zaruri olacaktır. Teorik fiziğin sonuçlarını çalışıp öğrenmeden ve kafi laboratuvar araçları olmadan deneysel fizik yapmaya çalışmak çağdaş bir savaşı tayyaresiz ve silahsız yapmaya benzer.

... Böylece, fizik bir doyum seviyesine doğru gitse bile, biyoloji gibi başka disiplinlere uygulanmasını araştırmak, eğer modern fiziğin tüm kaynaklarına sahip ustalar, gerçek uzmanlar tarafından yürütülmüşse, bilimsel ve pratik değerdeki sonuçların en büyüğünü sağlayabilir. Teknikleri üst üste çakıştırmış olmak yerine, yeni fiziğin durumuyla biyolojik durumu aynı beyinde birleştirmiş olmak evladır.

50 yaşındayken, geçen yüzyılın büyük doğacısı Hermann von Helmholtz, Berlin'e gidip fizik öğretmek için kadrosunu terk etmişti. Bu cesur ayrılışı, zamanlar mümkün kıldı ve hatta cesaretlendirdi. Bilim ve kendisi için, başarıların en büyüğü tarafından taçlandırıldı. Bugün, durum tersine dönmüştür. Deneysel fizik hızla erginlik ve tamamlanmışlık durumuna ulaşmaktadır ve daha arttırmak zor olacaktır. Öte yandan, öteki daha az ilerlemiş bilimlere yardım için tüm araçlara sahiptir.

Corbino, fiziğin yeni yönlerine ilişkin düşüncelerini açıkça dile getirmişti, ama yeni bir çığırın başlangıcını sezinleyen tek insan da o değildi kesinlikle. Bu sırada üniversitelerdeki yeni fizikçi kuşakları çekirdek problemlerine yöneliyordu. Paris ve Cambridge'in yaratıcı konumu sarsılıyordu ve yeni isimler Marie Curie ile Rutherford'un yerini alıyordu. Walther Bothe, James Chadwick ve Fréderic Joliot sahnenin merkezine giderek daha yaklaşıyordu. Üstelik, paketçik devinbilimine göreceli olarak küçük katkılar yapmış olan Birleşik Devletler, maddi bakımdan önemini arttırmıştı. Avrupa'da da yeni deneysel merkezler kurulmuştu; örneğin, Roma'da. Fermi yüzünden çoktandır da ünlüydü.

Tüm bu yeni hareketlilikler, 1932'de olağandışı bir verimliliğe ulaştı. Şans eseri olarak 1932 yılı, bu kitabın başında anlatılan 1895 dolaylarındaki atılımı anımsatırcasına bir dizi

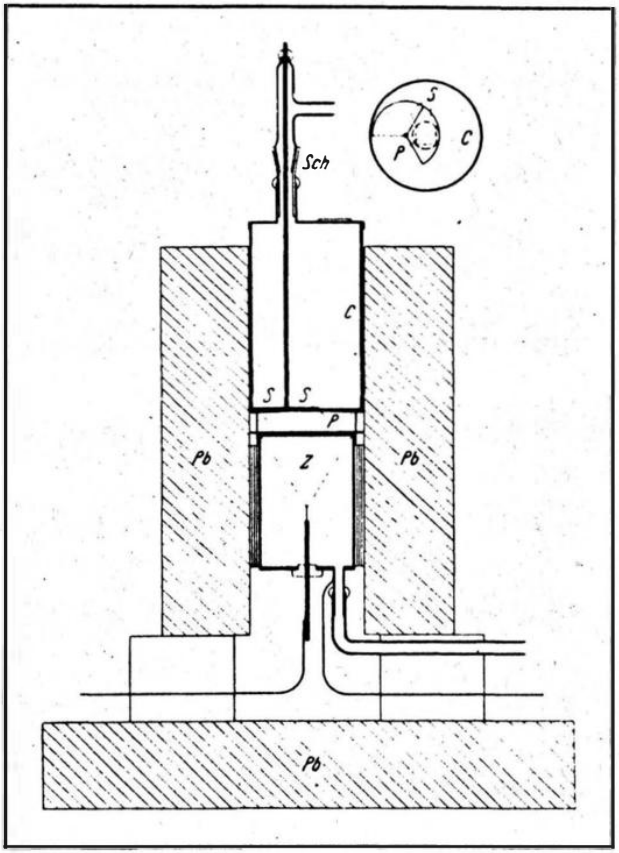
Resim 9.1 Wlather Bothe, (1891-1957) (solda) ve C. D. Ellis 1931'de Roma'dalar. Arka planda, soldan sağa, E. Amaldi, G. Placzek ve G. C. Wick.(Fotoğraf; E.

çığır açıcı buluş gördü. Zaman sırasıyla, belli başlı buluşlar, nötron; 2 kütleli hidrojen eşili döteryum; artılı elektron yani pozitron; yaklaşan ivmelendiriciler çağı ve hemen arkasından beta yayınım kuramı ve yapay ışımaetkinlikti. Hamburg Üniversitesi'ndeki bir fizik semineri sonrasında, bu buluşların ikisinden birden, çay içerken haberdar olmuştum.

Nötronun Bulunuşu

İlk olay, nötronun bulunuşuydu. Karmaşık ve acıklı bir tarihe sahiptir. Bir gece süresinde yapılan X-ışını gibi başka buluşların tersine, nötronun keşfi iki yıl sürdü.

Hatta, ilginç bir tarih öncesine de sahiptir. Rutherford, proton kütlesine sahip yüksüz bir parçacığın olası varlığını sıkça düşünürdü. Elektronu çekirdeğe düştüğünden yük-



Resim 9.2 Bothe ve Becker'in, polonyum tanecikleriyle bombala dıkları berilyumdan, delici γ ışını yayılımı yapıldığını açığa çıkardıkları aygıtın şematik çizimi. Z, Geiger sayacını belirtmektedir. [Kaynak; *Zeithschrift fur Physik* , 66, 289 (1930

süzleştirilmiş bir hidrojen atomu olarak tasarlardı. Rutherford'un, böyle bir varsayımsal parçacığın davranışları hakkındaki düşünceleri, 1920 Baker Dersi'nde anlatılmış ve daha önce de gördüğümüz üzere, böyle bir parçacığın olası varlığını öğrencilerinin usunda canlı tutmuştu.

Walther Bothe (Resim 9.1) ve öğrencisi H. Becker, 1928'de polonyumun alfa tanecikleriyle berilyumu bombaladıklarında, nötronun gerçek keşfine doğru ilk adımı attılar (Resim 9.2). Amaçları, Rutherford'un gözlemlediği bozunmaları doğrulamak ve yüksek enerjili gama ışınlarının bunlara eşlik edip etmediğini bulgulamaktı. Elektrik iletimi yöntemini kullanarak, delici bir ışının varlığını buldular ve bunu gama ışınları olarak yorumladılar. Enerjisini tahmin etmek için, emilim katsayısını ölçmeye çalıştılar. Gözlemlerini lityum ve borona genişlettiler ve gözledikleri gama ışınlarının, atomların üzerine düşen alfa parçacıklarından daha yüksek enerjili olduğu sonucuna vardılar. Bu enerji ancak çekirdek bozunumundan kaynaklanabilirdi. İnceleme bir kaç yıl sürdü.

Berlin yakınlarındaki Oranienburg doğumlu olan Walther Bothe (1891-1957), Max

Resim 9.3 Frédéric Joliot (1900-1958) ve İrène Curie (1897-1956). Resim 2.8'deki genç kadın şimdi bağımsız bir bilimcidir ve kocası büyük deneylerin hazırlığında ona yardımcı olmaktadır. [F. ve I. Joliot-Curie, *Ouvres Scientifiques Complètes* (Pris: Presses Universitaires de France, (1965).]

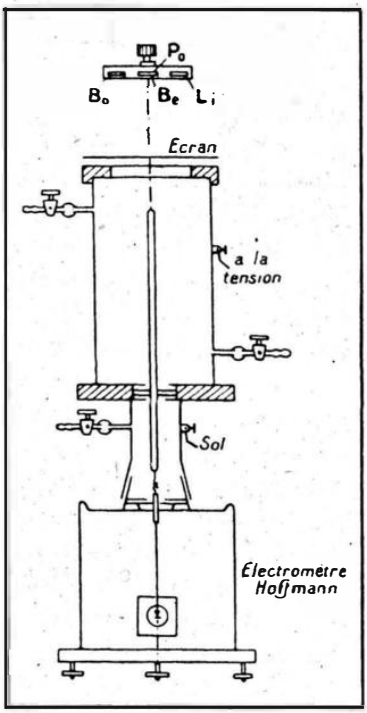
Planck'ın çok sayıdaki öğrencilerinden biriydi. Kariyerine, Berlin'deki Reichsanstalt'da Geiger'in yanında başlamıştı, ama I. Dünya Savaşı sırasında Ruslar'ın eline esir düşüp Sibirya'ya gönderilmişti. Orada matematik ve kuramsal konular üzerinde çalışmış ve bir Rus kızıyla evlenmişti. Savaşın sonunda Reichsanstalt'daki görevine geri dönmüş ve elektrik iletimi yöntemini geliştirmişti. Özellikle, ilk kez Geiger'ın ve Rutherford'un yorucu parıldama sayımlarında, gözleri yerine bir elektrik devresi koyarak yöntemin gücünü arttırmıştı. Bu raslantı yöntemi daha sonraları Bothe ve çalışma arkadaşları Kohlhoerster, Rossi ve başkalarınca çekirdek fiziğindeki çeşitli problemlere, kozmik ışınlara ve Compton

Resim 9.4 Picasso'nun çizimiyle Frédéric Joliot (J. Hurwic'in izniyle)

etkisi araştırılmalarına uygulandı. Bothe, birinci sınıf bir fizikçiydi-halktan daha çok meslekdaşları arasında iyi tanınan gerçek bir fizikçiler fizikçisi. Yetenekleri sanata dek uzanırdı, profesyonel düzeyde resim yapıp piyano çalardı. Gerçi biraz zor bir insandı, ama bilimsel ve kültürel yetkinliği, fizik dünyasında ona büyük saygınlık kazandırmıştı.

1931 dolaylarında büyük çaplı iki fizikçi sahneye çıktı: Irène Curie ve kocası Frédéric Joliot (Resim 9.3). Irène (1897-1956), Marie ve Pierre Curie'nin kızlarıydı ve annesine hem görünüş hem de kişilik bakımından çok benzerdi; (henüz dokuz yaşındayken babası öldüğünden) annesi tarafından büyük bir özenle yetiştirilmişti. Marie ile bir grup aydın ve bilimci, çocukları için öğretmenliği kendilerinin üstlendiği bir okul kurmuşlardı - Marie kuşkusuz fen öğretmeniydi. Birinci Dünya Savaşı sırasında Marie, Fransız ordusu için bir radyoloji servisi kurmuş ve Irène'i asistan olarak yanına almıştı. O kromozomları ve böylesi bir eğitimle Irène'in, kuşkusuz annesinin işliğinde, bilime yönelmesine, şaşmamak gerekir.

Frédéric Joliot (1900-1958), Marie Curie'ye eski arkadaşı Langevin tarafından, öncelikle teknik yetenekleri yüzünden tavsiye edilmişti. İlk işlerinden biri, çok güçlü bir polonyum kaynağı hazırlamak ve arkasından bir sis odası yapmaktı. Joliot (Resim 9.4) bu işlerin tümünü de parlak bir başarıyla tamamladı. Üstelik, patronun kızının kalbini fethetmeyi de başararak Irène'le 1927'de evlendi. Yeni kuşak, bir öncekinin ayak izlerinden gitmek için artık hazırdı. Joliot neşeli, içten ve hayal gücü geniş birisiydi; yakından tanımasam da bana, filmlerinden bildiğim Maurice Chevalier'i anımsatırdı.



Resim 9.5 Po-Be'den yayılan ışımanın neden olduğu proton geri tepmesini açığa çıkarmak için Joliot ve Curie'nin kullandığı aygıtın şematik çizimi. Yukarıda, kaynak; ortada, bir iyonlaştırma odası (aşağıdaki) elektrometreye bağlanmış olarak gösterilmiştir. [Kaynak *Comptes-rendus Academie des Sciences*, Paris 194, 273 (1932).]

Joliot ve eşi, tüm büyük keşiflerini II. Büyük Dünya Savaşı'ndan önce gerçekleştirmişlerdi. Fransa'nın düşmesinden sonra Joliot, Direnişçiler'e katıldı ve 1941'den 1945'e dek Ulusal Özgürlük Cephesi üyesi bir grubun başkanlığını yaptı. Savaştan sonra Atom Enerjisi Yüksek Komiserliği'ne atandı, ama aşırı sola eğilimli politikası, Fransız hükümeti gözünde o göreve uygun bulunmadı ve kovuldu. Uluslararası tüm komünist hareketlerinin ve ayaklanmalarının belli başlı önderlerinden biri ve Orsay'daki yeni bilimsel işliğin yöneticisi olarak kaldı. Irène, kısa bir dönem için Fransız kabinesinde Bilimsel Araştırmalar Bakanlığı yaptı. İkisi de, genç yaşta öldü. Olasılıkla üzerinde çalıştıkları ışımaetkinlik ve ışımaetkin maddelerin kurbanıydılar..

Joliot'lar, olağanüstü güçlü polonyum kaynaklarını, Bothe'nin delip geçici ışınını incelemek üzere kullanmaya karar verdiler. 18 Ocak 1932'de büyük öneme sahip ilginç bir gözlem raporu yayımladılar. Işıma, bir parafin levhasından proton fırlatıyordu. Bunu da, iyonlaştırma odasına bağlı bir elektrometre yardımıyla keşfetmişlerdi, ama sonuç o denli önemliydi ki, hemen bir sis odası yardımıyla da doğrulamaya çalıştılar ve 22 Şubat'da bu ikinci gözlemin sonuçlarını bastılar. Protonların çıkışı doğruydu (Resim 9.5, 9.6). Bothe'nin delici gama ışınları niçin proton çıkartacak kadar güçlüydü? Elektron için iyi bilindiği üzere, serbest bir parçacığın proton vuruşuyla ortaya çıkışı, Compton etkisinin bir türüydü.

Resim 9.6 Nötron çarpmasıyla harekete başlamış bir protonun geri tepmesinin bir sis odasındaki izi. Nötron, yüksüz olduğundan iz bırakmaz. [Kaynak; *Comptes-rendus Acądemie des Sciences*, Paris 194, 847 (1932), Gauthier-Villars]

Yine de, bu tür Compton etkilerinde elektronlar hafiftir ($mc^2 = 0.51$ MeV) ve kolaylıkla geri teperler, ama protonlar 1836 kez daha ağırdırlar ve kolaylıkla geri tepmezler. Bir bilardo topu ötekine çarpacak olursa, ikisi de kolaylıkla geri teper; ama bilardo topu çarpan bir otomobil hemen hiç hareket etmez.

Curie ile Joliot gözlemlerini Compton etkisi diye yorumlamaya çalıştıklarında, özgün iki ölçüt ileri sürdüler; gelen "gama ışınlarının" sahip olması gereken enerji ve çarpışma kesiti. Bu ara kesit, elektron için bilinen bağıntıdan basit bir genelleştirmeyle hesaplandığında, beklenenden yaklaşık olarak 3 milyon kez daha büyük çıkıyordu. James Chadwick (1891-1974), Curie-Joliot'un 18 Ocak makalesinden Rutherford'a söz etti ve Lordları, ileri sürülen açıklamayı işittiğinde, anlatıldığına göre, alışık olunmayan bir hiddetle "İnanmıyorum." dedi. Roma'da Ettore Majarona adlı genç bir fizikçi de aynı makale hakkında, kendine özgü bir alaycılıkla "Ne aptallık. Yüksüz protonu keşfetmişler de haberleri yok." demişti. Chadwick, Cavendish'de daha çoğunu yapacaktı. Berilyum artı polonyumu kaynak olarak kullanıp deneyleri tekrarladı ama çıkan ışımayla sadece hidrojeni değil helyum ve azotu da bombaladı (Resim 9.7, 9.8). Geri tepmeleri karşılaştırarak, ışımanın içinde kütlesi protonunki kadar olan yüksüz bir bileşen olduğunu kanıtladı. Adını nötron koydu

ve sonuçları 17 Şubat 1932'de Nature dergisine bir mektup yollayarak yayımladı. Curie ile Joliot, böylece büyük bir keşfi kaçırmış oldular.

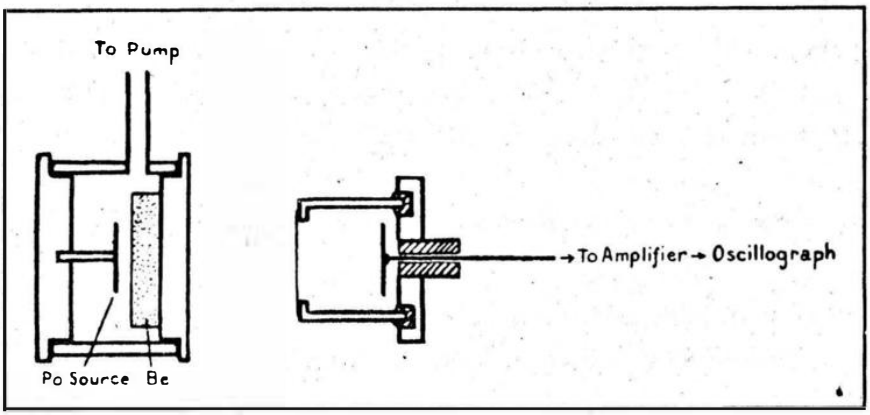
Chadwick'in hızı ve başarısının nedenlerinden biri, nötron kavramına kafaca hazırlıklı oluşuydu. Daha önceden nötronu güçlü yükboşalımlarında ya da başka yöntemlerle üretmek için birkaç girişimde bulunmuştu. Nörtonun keşfi hakkındaki makalesinde "bu deneylerin bazıları dehşetli saçmaydı" diye belirtmiştir. Nötron olmadığında onu saptayamamış, ama en sonunda orada olduğunda ise hemen, açıkça ve inandırıcı biçimde algılaması, büyük başarısına yol açmıştı. Bunlar, büyük deneysel fizikçilere özgü niteliklerdir.

Söylentiye göre Rutherford, nötronu keşfettiği için Nobel Ödülü'nün, onu tümüyle hak eden Chadwick'e verilmesinde ısrar etmiş. Joliotların da temel katkı yaptığını söyleyen birine, Rutherford şöyle diyesiymiş; "Nötron için sadece Chadwick'e; Joliot'lar öylesine zeki ki, yakında başka bir buluş için onu nasıl olsa alırlar."

Nötronun keşfi, çekirdek fiziği için de geniş ve derin etkiler yaratmıştır. 1930'a dek herkes (tıpkı bu bölüm başında konuşmasına yer verdiğimiz Corbino'nun sözlerindeki gibi) çekirdeğin elektron ve protonlardan oluştuğu varsayımını kabul etmişti. Varsayım akla yakın gelmişti, çünkü çekirdeklerin beta bozunumu sırasında elektron yaydıkları görülüyordu ve proton, bilinen en hafif çekirdekti. (Ç.N. 70) Üstelik, çekirdek kütleleri, proton kütlesinin yaklaşık tam katlarıydı. Bu varsayıma göre, azot çekirdeği 14 tane proton ile yedi tane elektron içermeliydi. Böylece çekirdeğin kütlesi 14 oluyor ve yedi elektron da yedi protonu yüksüzleştiriyordu. Elektronların kütlesi, protonlarınkiyle karşılaştırıldığında önemsiz kalır, bağlanma enerjisi Einstein'ın $E = mc^2$ eşitliğinden hesaplanabilirdi. Yine de, bu öntezi rahatsız eden ciddi zorluklar vardı. İlkin, belirsizlik ilkesi, elektron gibi hafif bir parçacığı çekirdek kadar küçük bir oylumda tutabilmek için yüksek yeğinlikte bir potansiyel engelini zorunlu kılıyor ama böylesi bir engeli hangi tür kuvvetlerin oluşturabildiğini hiç kimse bilmiyordu. Daha da kötüsü, fizikten tümüyle farklı olan molekülsel tayf (=molecular spectroskopy) alanında bazı deneyler, her türlü kuşkunun ötesinde azot çekirdeğinin *çift* sayıda fermiyon içermesi gerektiğini ortaya koyuyordu. Protonlar ve elektronlar fermiyondur ve elektron-proton yapı anlayışına göre azot çekirdeği içindeki toplam sayıları yirmi bire eşittir, yirmi bir ise çift değil bir *tek* sayıdır. Apaçık büyük bir çelişki vardı. Bu zorluk ve bükümle ilintili olan ötekiler, çekirdeğin ikisi de fermiyon olan proton ve nötrondan oluştuğu varsayımıyla tümden çözülmekteydi: Bu kurama göre, 14 kütleli azot çekirdeği yedi protonla yedi nötron, yani çift sayıda fermiyon içeriyordu. Bu varsayım, birbirinden bağımsız olarak, Sovyetler Birliği'nde D. Ivanevko ve Almanya'da Heisenberg tarafından ileri sürülmüştü. Majarona da aynı sonuca ulaşmış ama düşüncelerini yayımlamamıştı.

(Ç.N. 70) Sözü edilen hidrojen çekirdeği, tek proton oluşur, içinde nötron bulunmaz.

Resim 9.7 James Chadwick (1891-1974). Rutherford'un öğrencisi ve çalışma arkadaşı olan Chadwick, çekirdek fiziğinin en büyüklerinden biriydi. Nötronu buluşu, çekirdek fiziğinde ileride meydana gelecek tüm gelişmelerin temeliydi. (Biels Bohr Kütüphanesi.)



Resim 9.8 Chadwick'in nötron buluşunu gerçekleştirdiği aygıt. Solda, Po-Bi kaynağı; sağda, bir yükselticiye bağlı olan iyonlaştırma odası. [Kaynak; *Proceedings of the Royal Society*, London 136, 692 (1932).]

Nötron-proton bileşimine dayalı çekirdek modeli artık evrensel çapta benimsenmiş ve öyle kalacak gibi görünmektedir. Bu modeli tümden kavrayabilmek ve en sonunda tüm çekirdek özelliklerini de bu etkileşmelerden türetebilmek umuduyla proton-proton, proton-nötron ve nötron-nötron etkileşmelerini incelemek gereklidir. Bu gözüpek program, kısmen önemli bazı başarılarına karşın henüz tümden bitirilememiştir. 1930larda başlayıp sonraki

yıllarda derinleşerek genişleyen deneyler, proton ile proton, proton ile nötron ve nötron ile nötron arasındaki belirgin kuvvetlerin hep aynı türden olduğunu tanıtlamıştır. Heisenberg, E. U. Condon, Eugene Wigner ve ötekiler bu gerçeği kuramsal bir formüle bağlamışlar ve nötronla protonu, içsel koordinatları farklı iki ayrı paketçik konumundaki aynı parçacık (nükleon) olarak ele almışlardır. Bu tıpkı, verilen bir manyetik alan ile bükümü koşut ya da ters olan elektronun durumuna benzemektedir. Büküme benzerliği yüzünden, nükleonun içsel koordinatı, eşil büküm (=isotopic spin) sözcükleriyle adlandırılıp çoğunluk T simgesi ile gösterilir. Eşil büküm, bildiğimiz uzayda değil ama özel soyut bir uzayda düşünülmelidir. Matematiksel olarak, açısal momentumun aynısı, sıra değişikliği (=commutation) kuralları gibi paketçik devinbilimsel özellikleri vardır. Kendi uzayında bu nicelik, üç bileşenli bir vektördür. Elektrik yüküyle ilintili olan üçüncü bileşen şu eşitlikten elde edilir.

$$Q = T_3 + \frac{N}{2} + \frac{S}{2}$$

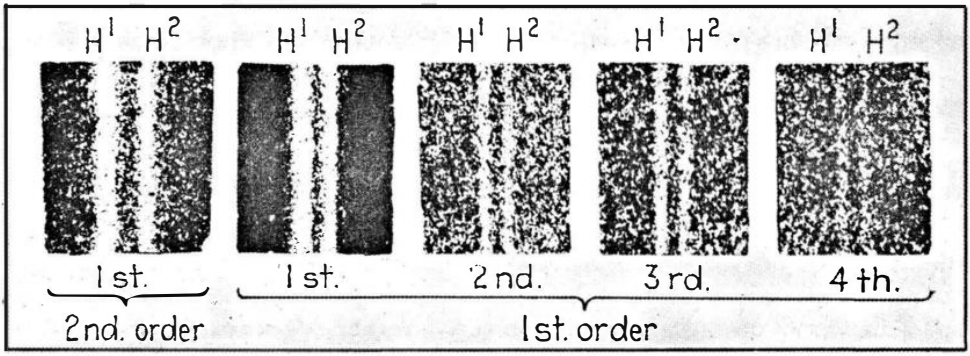
Bu eşitlikte Q elektrik yüküdür (proton için 1), N sistemdeki nükleon sayısıdır ve S ileride daha genişçe değineceğimiz acaipliktir. Çekirdekler için $S = 0$. Nötronun keşfi böylece baş belası güçlükleri gidermiş ve çekirdeğin anlaşılmasına giden yolu açmıştır. Ama, çekirdek fiziğinin başka temel bir sorununu, ileride değineceğimiz beta bozunumu sorununu çöz(e)memiştir.

Döteryumun Bulunuşu

Chadwick'in nötron buluşunu duyurduğu bildirisini Nature'a gönderdiğinin ertesi günü Amerikan *Physical Review* dergisine, 2 kütleli bir hidrojen eşilinin bulunduğunu bildiren bir başka önemli makale ulaşmıştı. Makalenin üç yazarı vardı; New York Columbia Üniversitesinden Profesör Harold C. Urey, Washington D.C.'deki Ulusal Standartlar Bürosu'nda bir bölüm (=cryogenic) şefi olan F. G. Bricklewedde ve Columbia Üniversitesi'nden G. M. Murphy.

Harold Urey (d. 1893) (Ç.N. 71), Indiana'da (Ç.N. 72) papazlık yapan bir babanın oğluydu. Babası, Harold henüz altı yaşındayken ölünce, annesi yine bir papazla evlenmişti. Aile çok fakir olduğundan, Harold genç yaşlarda kendi geçimini üstlenmek zorunda kalmıştı. Montana Devlet Üniversitesi'ne girip 1917'de kimya dalında mezuniyet derecesi aldı. Sonrasında, savaş endüstri ile bağıntılı bir fabrikada işe başladı, ama en kısa sürede Montana Üniversitesi'ne kimya öğretmeni olarak geri döndü. Ancak 1921'de, Gilbert Newton Lewis'in (1875-1946) yanına doktora için Berkeley'e gittiğinde gerçek bir enstitüye kavuştu.

(Ç.N. 71) Harold C(layton) Urey, 5 Ocak 1981'de ABD Californiya'da ölmüştür.
(Ç.N. 72) ABD'nin bir eyaleti.



Resim 9.9 Hidrojen eşilleri tayfının Lyman dizisi. Döteryumun, olağan hidrojene göre çekirdek kütlesindeki değişiklikten kaynaklanan tayf çizgilerindeki kaymalar gösterilmemektedir. Resim 7.3'deki, bu tür çizgilerin frekansını veren bağıntı "indirgenmiş kütle" içermektedir, bu da hidrojen ve döteryum için farklı değerlere sahiptir..

Lewis, asıl olarak fiziksel kimyacı ısıldinamikçiydi; ama sorgucu ve imgeci aklı, her zaman eleştirel değilse bile uyarıcı bir biçimde, çok geniş bir konular yelpazesine yayılmıştı. Büyük ölçüde kendi yaratısı olan Berkeley kimya bölümünün egemeniydi. Lewis'in, kimya ile ilintili çok geniş bir alanda birçok parlak öğrencisi vardı, Urey de onlardan biriydi.

Doktorasını bitirdikten sonra Urey, bir burs bularak Kopenhag'a gitti. Orada, atomik fiziğin 1924'te bilinen kadarını öğrendi ve A. E. Ruark'la birlikte, Amerikalı kimyacılar arasında yeni görüşlerin yayılmasında son derece etkili olan bir kitap yazdı. Döteryumu bulduğu Columbia Üniversitesi'nde kimya profesörlüğüne 1929'da atandı. İkinci Dünya Savaşı sırasında Manhattan Projesi için yayılım süreciyle eşil ayrımı görevini üstlendi. Savaştan sonra Şikago Üniversitesi'ne ve en sonunda da San Diego'daki Kaliforniya Üniversitesi'ne gitti. Savaş sonrası etkinlikleri, başlıca gezegenlere ve aya ilişkin problemlerdi. Urey'in heyacanlı bir kişiliği vardı, Amerika'da genel eğilim olduğu üzere, iyi olan herşeyi her zaman desteklemeye hazırdı.

Aston (Ç.N. 73) zamanından beri, doğal ögeleri eşil bileşimi ve eşillerin tek tek hassas atom kütlesi ölçümleri, tek eşillerin bile tamsayılı kütleye sahip olmadığını göstermişti. Burada, hep yapıldığı üzere, bir varsayım yapıyoruz, atom ağırlık birimi olarak C^{12}'nin atom ağırlığını tam 12 alıyoruz. Tek eşil kütlesinin küsûrlu değeri, çekirdek bağlanma enerjisi yüzündendir. Öte yandan, ögelerin kimyasal atom ağırlıklarındaki küsûrlu değerler ise, "ögeler"in aslında eşillerin karışımı olmasındandır. Örneğin, klor 35.46 atom ağırlığına sa-

(Ç.N. 73) F. W. Aston'dan daha önce de söz edilmişti, örn. s. 108. Ayrıca; kitap sonundaki Ad Dizini'ne bakınız.

hiptir, çünkü 34.97 ve 36.97 atom ağırlıklı iki klor eşilinin karışımıdır. Henüz 1919 gibi erken bir tarihte bile Otto Stern, 1.0079 atom ağırlıklı çıkan hidrojenin aslında iki eşilin karışımı olabileceğini düşünmüştü. Bu olasılığı, çalışma arkadaşı M. Volmer'le araştırmış ama olumsuz bir sonuca ulaşmıştı. 1 ile 1.0079 arasındaki farkın 2 kütleli yeni varsayımsal eşilin karışımı yüzünden olduğunu ve karşım oranının da yüzde 1 olduğunu var sanmışlardı (=assumed). Düşünceleri temelden doğru ama niceliksel olarak yanlıştı çünkü döteryum atomlarının karışımdaki oranı yüzde 0.015 düzeyindeydi.

Sonraları, bazı ögelerin tayf bantları üzerinde yapılan dikkatli incelemeler, azot ve oksijen içindeki ender eşillerin bulunuşuna yol açtı. Hidrojen ise, Urey ve arkadaşlarınca ele alındı. Ender eşilleri, sıvı hidrojenin kısmi damıtılması yoluyla zenginleştirdiler ve en sonunda, döteryumun varlığını tayf irdeleme yöntemiyle tanıtladılar (Resim 9.9). Döteryum, çekirdek fiziğinde alışılmadık öneme sahip bir eşildir. Döteryum üzerine M. S. Livingston ve E. O. Lawrence'ın birlikte yazdıkları temel makalelerden biriyle döteryumun bazı çekirdek reaktörlerinde pratik uygulamalarının olabileceğini bildiren bir açıklama, raslantı sonucu art arda yer almıştı. Bu makale *Physical Review* dergisine 20 Şubat 1932'de, Chadwick'in döteryumu bulduğunu duyurduğu makaleden bir hafta, Urey'in makalesinden ise iki gün sonra ulaşmıştı. Harika yıl 1932, çekirdek fiziğinin yazgısını dönüştürecek olan parçacık ivmelendiricilerinin de başlangıcını görme şansına erişmişti.

Pozitron

Bu buluşlarla yükselen heyecan durulmaya henüz yüz tutmamışken, bir başka mucize bu kez gerçekten göklerden, kozmik ışınlardan geldi. Kozmik ışınlar, 20. yüzyılın başından beri biliniyordu. Bunların dünya dışı kaynaklı olduğu, başlıca V. F. Hess'in (1883-1964) yaptığı balon uçuşlarıyla 1912'de ortaya konmuştu. Değişik yüksekliklerde bir elektroskopun (Bknz. Ç.N. 18) kendiliğinden yükboşalımına uğraması ölçümleriyle, dünyadışı kaynaklı delici ışınların ürettiği dünyadaki ışınlaetkin nesnelerin yolaçtığı iyonlaştırma saptanabilmişti. Fizik ve yerfiziğindeki (=geophysics) başka hayran olunacak araştırmalar, evrenli her yönden kuşatan bir ışımanın varlığı sonucuna katkıda bulundu. (Ç.N. 74) Bu ışımanın yüksek enerjili gama ışınlarıyla elektronlardan oluştuğu sanılıyordu. Gelgelelim, herhangi bir irdeleme ya da yorumlamanın önüne de ciddi güçlükler çıkıyordu, çünkü yeryüzünde gözlenen ışıma uzaydan dosdoğru gelen birincil değil, ama daha çok birincilin dünya atmosferine girdiğinde yolaçtığı ikincil tür ürünlerden oluşuyordu. Balonla ya da dağlarda yapılan yükseklik ölçümleri birincil türü ikincil ışımalardan ayrıştırılmasına yardımcı olabiyordu ama sorunun karmaşıklığı kökten çözümlenemiyordu.

(Ç.N. 74) Burada sözü edilen, Bing-Bang'in kalıntısı olarak yorumlanan 3,4°K'lik karacisim ışıması (=blackbody radiation) değildir.

Kaliformiya Pasadena'da, Robert Andrews Millikan'ın çevresinde toplanan kozmik ışın araştırıcılarının çok verimli bir okulu vardı. Millikan burada hayran kalınacak yöntemler geliştirmiş ve düzenlediği araştırma grupları ve bilimsel gezilerle kozmik ışın araştırmalarına büyük katkılar yapmıştı. Ne var ki, Milikan'ın tüm görüşleri doğru değildi ve bazan dik kafalılaşıp, önyargılı görüşlerine aykırı gerçekleri kabul etmek istemezdi.

R. A. Millikan (1868-1953), birçok Amerikalı gibi, büyük bir aileye sahip fakir bir papazın oğluydu. Gençliği ortabatının küçük kasabalarında geçmişti. Öğrenim için girdiği Oberlin Koleji'nde henüz ikinci sınıf öğrencisiyken, daha önce hiç bilmediği fizik dersi öğretmenliği yapması istenmişti. Fizik öğretmenliğini, bir burs bulup Columbia Üniversitesi'ne gidene dek sürdürdü. Doktorasını da orada 1895 yılında tamamladı. Almanya'da kısa bir süre kaldıktan sonra Chicago'ya gelip A. A. Michelson'un yardımcısı oldu. Her ikisi de birinci sınıf deneysel başarılar olan, elektron yükünün ve sonra da Planck değişmezinin belirlenmesi üzerine olan büyük bir araştırma programını ancak 1909 yılında başlatabildi. 1921'de Chicago'dan, Pasadena'daki California Institute of Technology'ye geçti ve büyük bir fizik işliği kurdu zamanında Birleşik Devletler'in en iyisiydi. Millikan'ın kişiliği diğer fizikçilere göre çok farklıydı. Mükemmel iyi ilişkiler kurabilir, büyük miktarlarda paraları en zor zamanlarda bile toplayabilirdi. Kendi reklamını yapmaktan da hiç çekinmezdi; bilim ve din üzerine nutuklar atar, kozmik ışınlar için "atomların doğum çığlıkları" ya da "kürelerin müziği" derdi. Bir kezinde bir dinci grup büyükçe bir "İsa korur" yazısını CalTech'e bıraktığında bazı öğrenciler üzerine şu sözleri eklemişti " Ve Millikan parsayı kapar." (Ç.N. 75)

Aslında, Millikan'ın kendini bu denli beğendirmesinin altında, bilimsel ve yönetsel başarılarına dayalı çok sağlam bir temel vardı. Fizikteki deneysel araştırmaları, CalTech içindeki birçok seçkin grup tarafından başka alanlara da taşınmıştı. Kozmik ışınlar, x-ışınları ve çekirdek fiziği alanları serpilmişti. Yönetimi altındaki kimya, yaşambilim, mühendislik ve diğer dallardaki işliklerde, çoğu ileride dünya çapında ün kazanacak birçok gelecek için umut veren bilim adamı yetişmiş ve görevlendirilmişti. Wilson dağı ve Palomar gözlemevleri, gökbilimin önderleriydi.

Millikan'ın geçmişi, kişiliğinde yansımaktaydı. Mark Twain'in ustalıkla sergilediği bir dönemde Ortabatı'nın kırsal ortamında büyümüştü. Millikan'ın renkli kişiliği, adli katiplikten, özel fizik öğretmenliğine, oradan da seçkin deneysel fizikçiliğe dek üstlendiği işlerin çeşitliliğinden de belliydi. Din ve felsefe üzerine, yalın ve zaman zaman saflaşan görüşleri ile yöntem ve araç kullanmadaki yeteneklerin kuramsal görüşlerden daha önem taşıdığı bilimsel tavrı, tümüyle dönemin Amerika'sına özgündü. Zayıflık ve yalınlığına karşın, kendi ahlak ülkülerine ve kesin bir soyluluğa sahipti.

Millikan'ın en önemli koruyucularından biri olan Carl D. Anderson (Resim 9.10), 1905'de New York'da İsveçli bir anababadan doğmuştu. Anderson uzun ve seçkin meslek

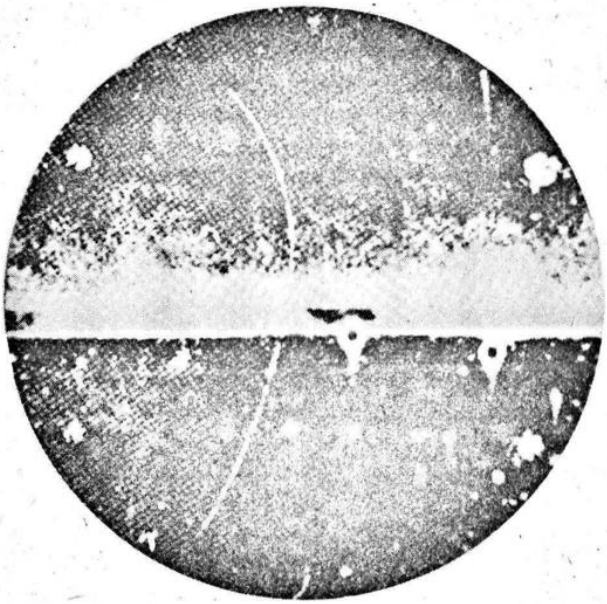
(Ç.N. 75) CalTech, söz konusu üniversitenin adının kısaltılmışıdır. Ayrıca; "İsa korur" ya da ".. korusun" deyiminin İngilizcesindeki "save" sözcüğü, "biriktirme" anlamına da gelir.

Resim 9.10 Pozitronun kaşifi Carl D. Anderson (solda) ve öğrencisi kabarcık odasının mucidi Donald Glaser yaklaşık 1950 yıllarında. (Fotoğraf; E. Segrè.)

yaşamını baştan sona California Institute of Technology'de geçirmişti. 1930'da, içine manyetik alan uygulanabilen ve gözlenecek parçacıkların arasından geçeceği bir çift levha bulunan sis odasını yapmaya başladı. Böylelikle, parçacıkların levhalar arasından geçerkenki manyetik sapmalarını gözleyebilecekti.

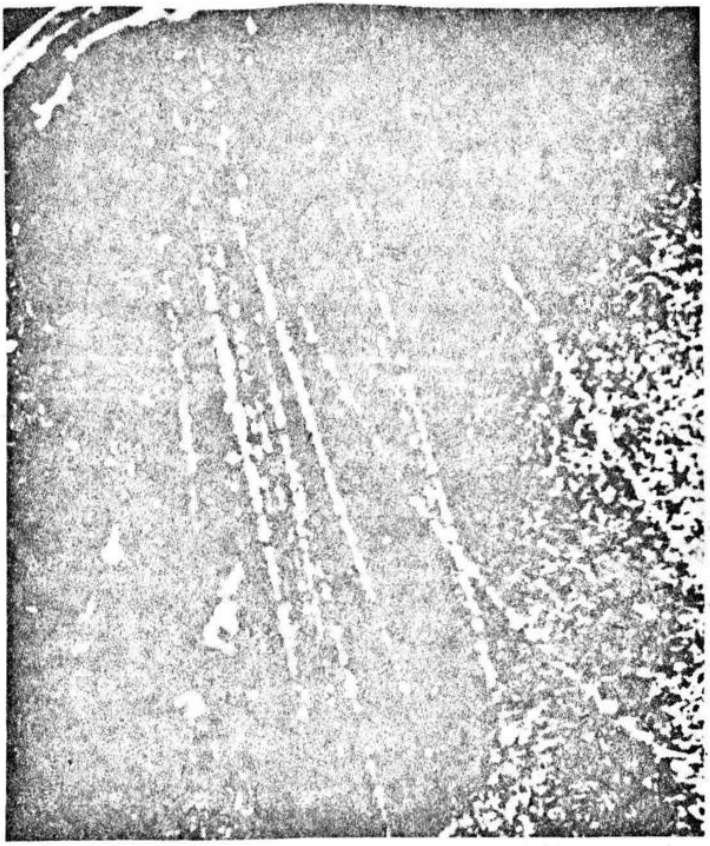
Bu yöntemi ve sonraki çeşitlerini kullanarak Anderson ve öğrencileri (S. Neddermeyer ve ötekiler) uzunca bir dönemde pekçok önemli keşifler yaptılar. Bunlardan biri 2 Ağustos 1932'deydi. O gün, kurşun levhasından geçip sis odasının içinde duran bir elektronun Resim 9.11'deki fotoğrafı çekildi. Hareketin yönü bellidir çünkü levhayı geçen elektron momentum kaybeder ve bunun sonucunda izleğinin eğriliği artar. Bu da, elektron yukarı doğru hareket ediyordu demektir. Ne var ki, bilinen bu hareket ve manyetik alan yönlerine göre, fotoğraftaki izlek bildiğimiz elektrona değil, ancak artı yüklü bir parçacığa ait olabilirdi. Bir protona mı? Olanaksız, çünkü levhadan geçmeye yetecek kadar momentumu olan bir protonun izleği, sis odasının manyetik alanı içinde görülebilir eğiklik yaratmayıp dümdüz olurdu; ya da tersine; izleği düz değil de eğrilmişse, momentumu kurşun levhadan geçmeye yetmeyecekti. Resimin ayrıntılı incelemesi, bizi gerçekten de artılı bir elektronla ya da şimdiki adıyla *pozitronla* karşı karşıya olduğumuz kaçınılmaz sonucuna götürür. 1932'de Anderson Dirac'ın kuramından habersizdi ve Dirac'ın pozitronu öngördüğünü bilmiyordu. Böylesine ikna edici bir deneysel gerçeği, yayımladığı kısa bir makaleyle duyurdu ve kısa sürede tüm fizikçileri, artılı bir elektron gözlemlediği konusunda inandırmayı başardı. Kuşkusuz bu, Dirac kuramının da büyük zaferiydi.

Anderson'u izleyerek, başka fizikçiler de daha önce çektikleri fotoğraflar arasında pozitron izlerini buldular; bu izler o zamanlar dikkatlerinden kaçmış, yanlış yorumlanmış ya da pozitronun varlığını kanıtlayacak kadar ikna edici bulunmamıştı.



Resim 9.11 Kozmik ışınlardan gelen bir pozitronun, manyetik alan uygulanmış bir sis odasında çekilen fotoğrafı. İzlek eğiklinin yarıçapı, manyetik alanın ve parçacığın hareketi birbirine diktir. Pozitron aşağıdan geliyor, kurşun levhayı geçerken de yavaşlıyor. Azalan hız, levhanın üstündeki izleğin büyümüş eğriliğinden belli olmaktadır. [Fotoğraf; C. D. Anderson. Kaynak; *Physical Review* 43, 491 (1933).]

Anderson'un araştırmasından bir süre önce de Bruno Rossi, kurşunla çevrelenerek üçgen düzeninde yerleştirdiği üç Geiger sayacından eş zamanlı sinyaller almıştı. Bu olay, kurşundan çıkan en az iki yüklü parçacığın varlığı kabul edilmeden kolay kolay açıklanamazdı. Bu deney sonuçları öylesine inanılmaz gelmişti ki, yayım için gönderildikleri ilk bilimsel dergi önyazmayı ret etti. Makale, sonra başka bir dergiye gönderildi. Gizemi açıklamak üzere P. M. S. Blackett ve G. Occhialini, sis odasının genleşmesini, çevresine yerleştirdiği üç sayaca üçlü bir eşzamanlık kullanarak tetiklediler(=trigger). Sonra da artı ve eksi yüklü parçacıkların gerçek bir sağanağına tanık oldular (Resim 9.12). Araştırma Cavendish işliğinde yürütülmüştü. Belki biraz süslenmişti ama buluşun şöyle de bir öyküsü vardır. Occhialini, banyo ettiği fotoğrafı görür görmez, Rutherford'un evine koştu. Kapıyı hizmetçi kız açtı ve Occhialini tüm heyacanıyla onu öptü. Rutherford fotoğrafı görünce, çoktandır maddi sıkıntı içinde olan Occhialini'ye elli poundluk bir çek yazdı.



Resim 9.12 Kozmik ışınlarca oluşturulan bir elektron ve pozitronların sağanağı. Sağanağa, kozmik ışınların yarattığı elektron-proton çiftleri neden olmuştur. Fotoğraf P. M. S. Blackett ve G. Occhialini tarafından, Geiger sayacınca kontrol edilen bir sis odasında çekilmiştir. [Kaynak; *Proceedings of the Royal Society* 139, 699 (1933).]

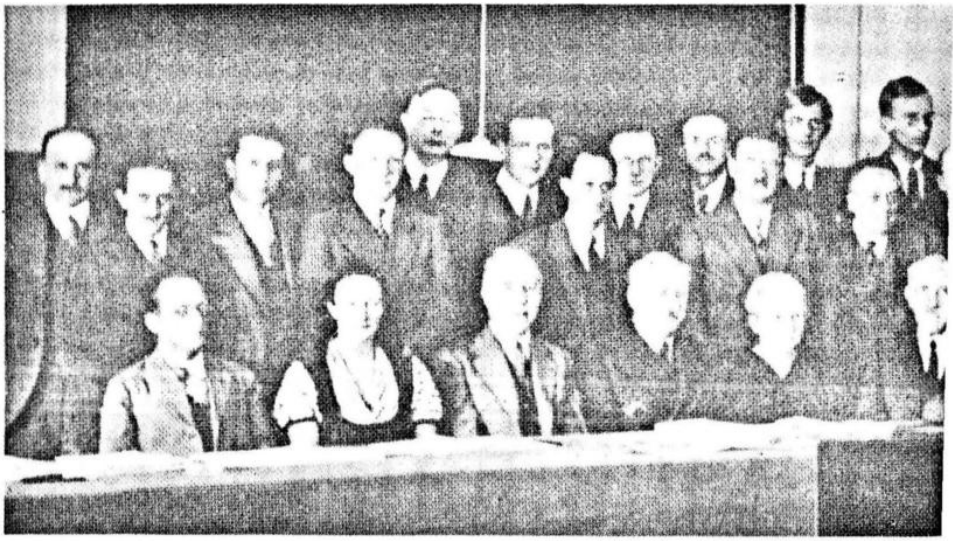
Sağanak olgusu, özdekleştirme (=materilization) adı verilen gama ışınlarının elektron-pozitron çiftlerine dönüşmesi, onların da daha çok gama ışını yaratmalarıyla ve bu durumun böyle sürüp gitmesiyle açıklandı. Özdekleştirme sadece, eğer ortada bir çekirdek varsa gerçekleşir. Süreçteki momentum korunumunu sağlayabilmede, çekirdeğin ağır olması daha işlevseldir

Irène Curie ve Joliot, pozitronları Anderson'dan daha önce, polonyumla karıştırılmış berilyumun ışımasını incelerken sis odasında görmüşlerdi. Ne var ki, onları kaynaktan uzaklaşan pozitronlar olarak değil kaynağa doğru hareket eden elektronlar olarak yorumlamışlardı. Kuşkusuz, kaynağa doğru hareket eden elektronların nereden geldikleri sorusu vardı ... Curie ve Joliot, nötron gibi pozitronun da keşfini atlamışlardı. Nisan 1933'de işliklerindeki sis odasını yeniden çalıştırmaya başladılar ve 23 Mayıs'da berilyumlu pozitron kaynağından gelen sert gama ışınlarının (kaynak bunları, nötronların yanısıra yayımlıyordu) özdekleştirme yoluyla elektron-pozitron çiftleri ürettiğini tanıtladılar. İki ay sonra, Haziran'da, çiftlerin yanısıra tek pözitronları da fark ettiler. Bu dikkat çekici bir olguydu, daha da dikkat çekicisi ise, tek pozitronların enerjilerinin kesintisiz değerlerde oluşuydu.

Yeni Çekirdek Fiziği

22 Ekim 1933'den 28'ine dek süren yedinci Solvay Konseyi fizikte çok ilgi çeken çekirdek konusuna ayrılmıştı. Bu bölümde sözünü ettiğimiz buluşların tümünün yeni olması nedeniyle, tartışmalarda konu sıkıntısı çekilmiyordu. Resim 9.13'de, katılanların toplu fotoğrafı görülmektedir. Eski kuşağın başlıca temsilcileri, M. Curie ile Rutherford, daha genç olanlar ise Joliot, Chadwick, Irène Curie, Bothe, Fermi ve tek Amerikalı E. O. Lawrence'dı. Konsey yayınları bilgi düzeyinin göstergesiydi, kuşku ve kafa karışıklığı ağır basıyordu. Bazı problemler kontrol altında ya da çözülebilecekleri görülüyordu; bazılar da tümüyle düzensizlik içindeydi.

Sıkıntılı bilmecelerden biri, enerjinin korunmadığı beta bozunumuydu. Beta bozunumunun elektronları, başlangıç ve son enerji düzeyleri kesinlikle tanımlı olsa da kesintisiz bir enerji tayfı gösteriyorlardı. Bozunum sırasında açığa çıkan elektronların başlangıç ve son enerji düzeyleri arasındaki farka eşit olan enerjileri nereye gidiyordu? Bu sorun, yıllardır araştırılıyordu. Örneğin, yiten enerjiyi gama ışınlarının dengeleyip dengelemediği bile kontrol edilmişti. Isıölçüm (=calorimetric) yöntemleri de dahil, birçok deney, yitik enerjinin nereye gittiğini açığa çıkarmada başarısız kalmıştı. Üstelik, açısal momentumun ve benzeri, çoğunlukla korunan niceliklerin korunumuna ilişkin başka sorunlarla da yüz yüze kalınmaktaydı. Umutsuzluk içinde, Bohr, çekirdek olaylarında enerji korunumunu yıkmaya hazırdı. Pauli, daha tutucuydu ama, 1930'dan beri beta bozunumundaki elektronlara hafif yüksüz parçacıkların eşlik ettiğini, gözden kaçan bu parçacıkların yitik enerjiyi taşıdıklarını ve bunun da hesaba katılmasıyla enerji ve diğer korunum yasalarının sağlanmış olacağını öneregelmekteydi. Roma'da, Pauli'nin hafif yüksüz parçacığına *neutrino* (İtalyanca, küçük yüksüz) adı konmuştu. Chadwick ise aynı parçacığa *neutrone* (İtalyanca, büyük yüksüz) adını takmıştı ama, ilk ad, Fermi'nin beta bozunumunun gerçek bir kuramını nötrinoya (=neutrino) dayalı olarak vermesiyle, evrensel kabul görmüştü.



Resim 9.13 1933 Solvay Konseyi'ne katılanlar. Bu fotoğraf, genç ve yaşlı, dönemin tüm büyük çekirdek fizikçilerini biraraya getirmiştir. Oturanlar, soldan sağa: E. Schrödinger, I. Joliot-Curie, N. Bohr, A. Ioffe, M. Curie, P. Langevin, O. Richardson, E. Rutherford, T. DeDonder,M. de Broglie, L. de Broglie, L. Meitner, J. Chadwick. Ayaktakiler: E. Henriot, F. Perrin, F. Joliot, W. Heisenberg, H. Kramers, E. Stahel, E. Fermi, E. Walton, P. Dirac,P. Debye, N. Mott, B. Cabrera, G. Gamow, W. Bothe, P. Blackett, M. Rosenblum, J. Herrera, E. Bauer, W. Pauli, M. Cosyns, J. Verschaffelt, E. Herzen, J. Cockroft, C. Ellis, R.Peierls, A. Piccard, E. Lawrence, L. Rosenfeld. (Solvay Enstitüsü.)

Francis Perrin'in oğlu Jean Perrin Solvay Konseyi'nde beta tayfı üzerine konuşurken çok önemli bir saptama yapmıştı. Curie ve Joliot'un sis odası fotoğraflarında kesintisiz enerji dağılımıyla ortaya çıkan pozitronun, beta bozunumu tayfını anımsattığını söylemişti. O sıra, ne kadar haklı olduğunu bilmiyordu.

Toplantıda tartışılan bir başka beklenmedik sonuç da, kısa bir süre önce Hamburg Üniversitesinden Otto Stern ve çalışma arkadaşları I. Estermann ve O.Frisch tarafından elde edilmişti. Stern-Gerlach deneyini hidrojen molekülleriyle yineleyerek, ama bu kez elektronun değil, protonun manyetik momentini ölçmeyi başarmışlardı (Resim 9.14). Söz konusu deney zordu çünkü protonun manyetik momentinin elektronunkinden yaklaşık bin kez daha küçük çıkması bekleniyordu. Bu da, Bohr'un magneton bağıntısında yer alan, paydadaki parçacık kütlesini gösteren terimden kolaycacık anlaşılıyordu. Yalınkat bir genelleme, böylece, proton manyetik momentinin elektronunkine oranı, kütle oranlarının tersine, yani 1/1836'ya eşit olacağı sonucunu veriyordu. Bu, o günlerde Hmburg'da bulunan

büyük Pauli de olmak üzere, kuramsal fizikçilerin beklentisiydi. Pauli, Stern'e zor deneylerden hoşlanıyorsa yapmasını, ama bu kez boşuna zaman ve çaba harcayacak olduğunu çünkü sonucun çoktandır bilindiğini söylemişti. O sırada henüz tamamlanmamış olan deneyi hakkında düzenlenen bir seminerin sonunda Stern, tüm katılanlardan küçük birer kağıt parçasına bekledikleri sonucu yazarak altını imzamalarını rica edip topladığı kağıtları saklamak üzere cebine koymuştu. İlginçtir, protonun manyetik momenti, beklenen değerden yaklaşık üç kez büyük çıkmıştı. Bu da, protonun karmaşık yapısının ilk işaretiydi.

Solvay Konseyi'nin ardından katılanlar, evlerine dönerken bir yandan da Brüksel'de duydukları üzerinde düşünüp taşınıyor olmalıydılar. Birkaç ay içinde büyük bir buluş daha yapılacaktı.

Fermi, beta bozunumu üzerinde düşünüp taşınmaya devam etti. Niteliksel olarak nötrino düşüncesini sevmişti ama paketçik devinbiliminin kuralları doğrultusunda niceliksel bir kurama dönüştürülme gereği de apaçık ortadaydı. Bir zorluk vardı: Sıradan kuramlarda parçacık sayısı sabittir, bununla birlikte, beta bozunumu sırasında elektron ve nötrinonun aniden yaratılmış olmaları gerekmektedir. Ne var ki, ışığın da benzer bir etki gösterdiği bilinmektedir; bir atomun yüksek bir düzeyden daha alta sıçramasıyla aynı anda bir ışık paketçiğin ortaya çıktığı söylenebilir.

Dirac, Pauli ve Heisenberg 1928'de bu problemin üzerine atılmışlardı, ama bu konuya yer verdikleri, paketçik alan kuramını ve paketçik elektrodinamiğini başlattıkları tarihsel makaleleri hiç de kolay anlaşılabilir gibi değildi. Maxwell elektromanyetik alanını, sıra değiştirim bağıntıları kullanarak paketçik devinbilim kuralları doğrultusunda paketçiklendirmişlerdi; buradan da, Einstein'ın 1905'de öngördüğü, ışık paketçikleri ma-

tematiksel olarak ortaya çıkıyordu. 1929'da Fermi de, Dirac'ın 1927'de yayımladığı ışımanın paketçik kuramına ilişkin makalesine göz atıp elde ettiği sonuçları gördükten sonra, kendi yalın yaklaşımıyla konu üzerinde çalışmaya karar verdi. Böylelikle, Dirac'ın o günlerde anlaşılmasının önüne çıkan engelleri de gidermiş olacaktı. O ünlü elektrodinamik makalesini yazdı ve ışıma kuramı fizikçilerin önüne açıp koydu. Makale titizlikle hazırlanmıştı ve doğruydu, ama birkaç yıl önce O. Klein, P. Jordan, E. Wigner ve başkalarınca icat edilmiş (=invented) olan yaratım (=creation) ve yıkım (=destruction) işlemcilerini kullanmaktan kaçınmıştı. Bu işlemciler, adlarından da anlaşılabileceği gibi, parçacıkları yaratır ya da yok ederler; fermiyon ve bozonlar üzerindeki etkileri de farklıdır, ama Fermi bu konularda uzman değildi.

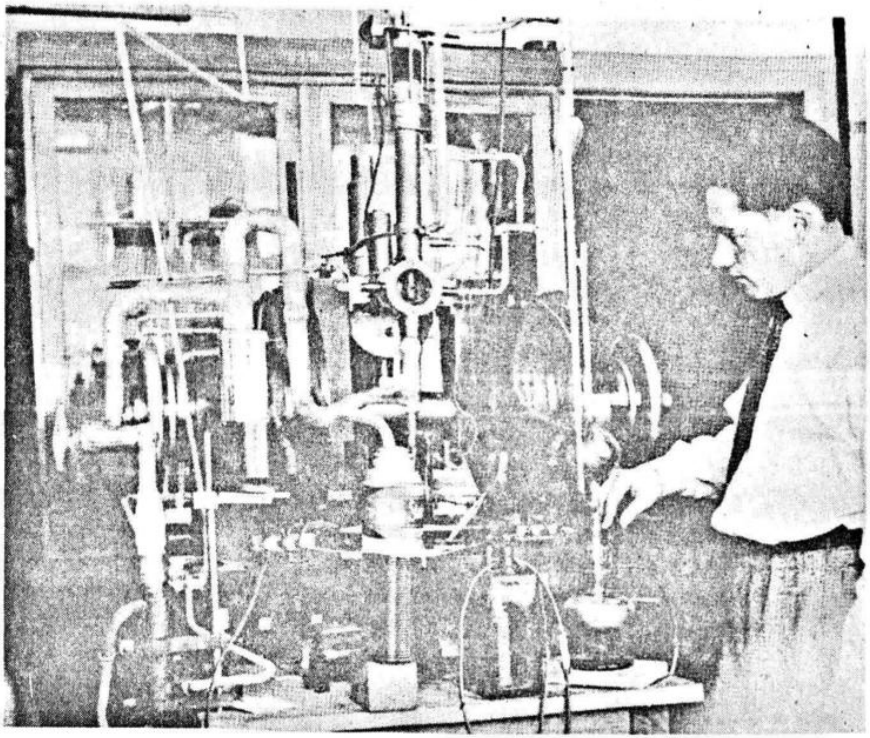
Brüksel'den döndükten sonra, Fermi bu işlemcilerin nasıl kullanılacağının artık öğrenme zamanının geldiğine karar verdi ve biraz çalıştıktan sonra konuyu bildiği kanısıyla maharetini bir "örnek" üzerinde sınamak için kendini hazır hissetti. Beta bozunumunu, mümkün olduğunca elektodinamiğe yakın bir modellemeyle, betimlemeye çalıştı. Bunu kotarabilmek için yeni bir temel etkileşme, yani yerçekim ve yükçekim gibi yeni bir doğal kuvvet öne sürmek zorunda kalmıştı. Bilindiği adıyla zayıf (=weak) etkileşme ya da Fermi etkileşmesi, değeri beta bozunum deneylerinden çıkarılabilecek olan yeni bir evrensel sabit gerektirir, g, Fermi'nin kuramı beta tayfının biçimini, beta bozunumunun ortalama ömrünü ve böylesi bozunumların daha pek çok özelliğini açıklamaktadır. Bugün de geçerlidir, ama 12. Bölümde sözünü edecek olduğumuz Çinli T. D. Lee ve C. N. Yang'ın yaptığı temel nitelikteki eklemelerle birlikte. Fermi'nin beta bozunumu araştırması, olasılıkla onun kuramsal şaheseridir ve parçacık fiziğinin temeli sayılabilir. Fermi, önyazmasını 1933'ün sonunda *Nature* dergisine yolladı ama derginin basımcısı tarafından hemencecik ret edildi. Kısa süre sonra başka bir yerde basıldı.

Roma'da 1934'ün başında beta ışın kuramını çalışıyorken, Curie ve Joliot'un bizi serseme çeviren bir sayfalık makalesini okumuştuk.

Paris'te de neler oluyordu öyle? Sözü edilmiş olduğu üzere, Solvay Konseyi'nde Curie ile Joliot, alfa bombardımanı altındaki bazı maddelerin kesintisiz pozitron tayfı yayımladığını açıklamışlardı. Bu olayı incelemeyi, sonra da sürdürmüşler ve sonuçlarını içeren bir mektubu 19 Ocak 1934 tarihli *Nature* 'da yayımlamışlardı (Resim 9.15).

> *En son yaptığımız deneyler çok çarpıcı bir gerçeği açığa çıkarmıştır. Bir alüminyum barakpolonyum ışımasına tutulduğunda, pozitron yayılımı, etkin kaynak uzaklaştırıldıktan sonra bile dinmemiştir. Barağın ışımaetkinliği sürmekte ve ışımanın yayımı tıpkı bildiğimiz tüm ışımaögelerindeki (=radioelement) gibi üstel olarak sönmektedir. Aynı olayı boron ve mağnezyumla da gözledik....*

Bir sayfalık yazı, Rutherford'un, Curie ve Joliot'un düş kırıklığının büyük birşey sayesinde giderileceği yolundaki öngörüsünü doğrulamıştı. Gerçekten, Curie ile Joliot bu kez, yüzyılın en büyük buluşlarından biriyle başarılı olmuşlardı: yapay ışımaetkinlik. Nobel



Resim 9.14 Otto Stern'in işliği, Hamburg, 1931. O. R. Frisch, proton'un manyetik momentini ölçtükleri aygıtın yanında görülüyor. Frish, Lise Meitner'in yeğeniydi ve Hahn ile Strassmann'ın uranyum parçalanmasına üzerine yaptıkları deneyi yorumlamada Mestner'a çalışma arkadaşlığı yapmıştı. (Fotoğraf; E. Segrè.)

Ödülü'nü kazandılar ve umarım nötronla pozitronu kaçırmışlığın duygusunu böylelikle bastırdılar. Bu noktada deneysel fizikçilere kısa ve özlü makalelere yoğunlaşmalarını salık verebilirim. Nobel Komitesi, üniversitelerdeki makalelerin ağırlıklarını ölçerek yargıya varan (nadiren öyle yaptıklarına inanıyorsam da) derece yükseltme komitelerinin tersine, bir sayfalık yayınları yeğliyormuş gibime geliyor!

Joliotlar, zaman geçirmeden, genel ışımakimyasal (=radiochemical) yöntemlerle, yeni ışımaetkin özdek türlerinin kimyasal yapılarını irdelediler. Böylelikle ürettikleri çekirdek tepkimesinin

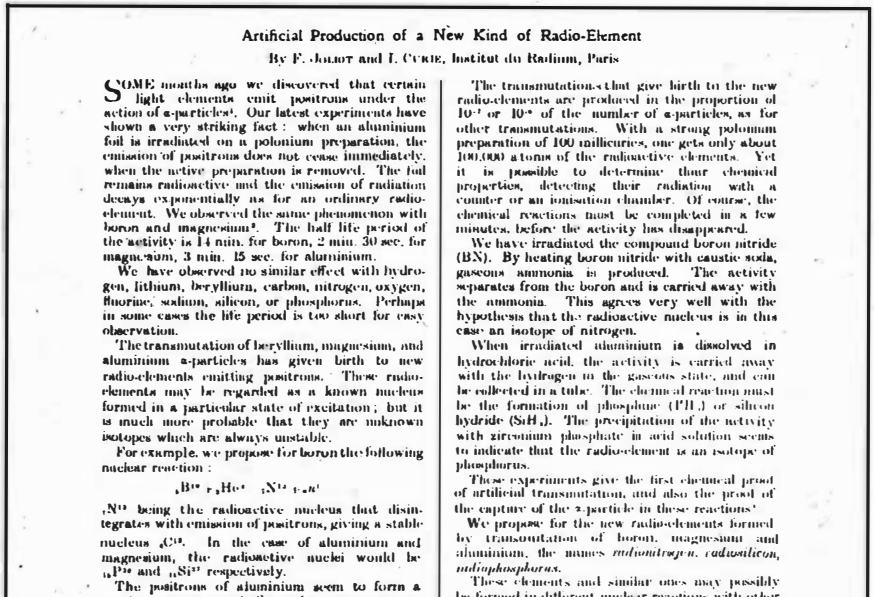
$$Al\,{}^{27}_{13} + He\,{}^{4}_{2} = P\,{}^{30}_{15} + n\,{}^{1}_{0}$$

oluğunu buldular. Bu tepkimede ışımaetkin fosfor eşili P^{30}_{15} yaklaşık 3 dakikalık bir yarıömre sahiptir ve şu tepkimeye göre bozunur

$$P^{30}_{15} \rightarrow Si^{30}_{14} + e^{+} + \nu$$

Kimyasal simgelerin (sol) alt ve (sağ) üstündeki sayılar, sırasıyla atom numarası Z ve kütle sayısıdır. Çekirdek[3] tepkimeleri çoğunlukla, Bothe'nin ileri sürdüğü daha özlü bir biçimde ifade edilir. Buna göre, P^{30}_{15}'un oluşumu Al^{27}_{13} (α, n) P^{30}_{15} biçiminde yazılabilir. Burada ilk simge hedefi, parantez içindeki ilk terim mermiyi, parantez içindeki ikinci terim açığa çıkan parçacığı, son simge de tepkimenin ürününü belirtir.

Yapay ışımaetkinliğin keşfinin sonuçları muazzamdı. O sıralar ölüm döşeğindeki Madam Curie kızına gayet yerinde bir biçimde şunları yazmıştı, "Nous voici revenus aux eaux temps du vieux laboratoire." [Eski işliğimizin parıltılı günlerine geri döndük.] Madam Curie'nin ömrü, ışımaetkinlik üzerine olan yapıtına yapay ışımaetkinlik hakkında kısa bir paragraf eklemeye yetecek kadar uzun, ama kitabın basımını göremeyecek kadar kısa sürdü.



Artificial Production of a New Kind of Radio-Element

By F. Joliot and I. Curie, Institut du Radium, Paris

SOME months ago we discovered that certain light elements emit positrons under the action of α-particles[1]. Our latest experiments have shown a very striking fact: when an aluminium foil is irradiated on a polonium preparation, the emission of positrons does not cease immediately, when the active preparation is removed. The foil remains radioactive and the emission of radiation decays exponentially as for an ordinary radio-element. We observed the same phenomenon with boron and magnesium[2]. The half life period of the activity is 14 min. for boron, 2 min. 30 sec. for magnesium, 3 min. 15 sec. for aluminium.

We have observed no similar effect with hydrogen, lithium, beryllium, carbon, nitrogen, oxygen, fluorine, sodium, silicon, or phosphorus. Perhaps in some cases the life period is too short for easy observation.

The transmutation of beryllium, magnesium, and aluminium α-particles has given birth to new radio-elements emitting positrons. These radio-elements may be regarded as a known nucleus formed in a particular state of excitation; but it is much more probable that they are unknown isotopes which are always unstable.

For example, we propose for boron the following nuclear reaction:

$$_5B^{10} + {}_2He^4 \rightarrow {}_7N^{13} + {}_0n^1$$

$_7N^{13}$ being the radioactive nucleus that disintegrates with emission of positrons, giving a stable nucleus $_6C^{13}$. In the case of aluminium and magnesium, the radioactive nuclei would be $_{15}P^{30}$ and $_{14}Si^{27}$ respectively.

The positrons of aluminium seem to form a continuous spectrum similar to the β-ray spectrum. The maximum energy is about 3×10^6 e.v. As in the case of the continuous spectrum of β-rays, it will be perhaps necessary to admit the simultaneous emission of a neutrino (or of an antineutrino of Louis de Broglie) in order to satisfy the principle of the conservation of energy and of the conservation of the spin in the transmutation.

The transmutations that give birth to the new radio-elements are produced in the proportion of 10^{-3} or 10^{-4} of the number of α-particles, as for other transmutations. With a strong polonium preparation of 100 millicuries, one gets only about 100,000 atoms of the radioactive elements. Yet it is possible to determine their chemical properties, detecting their radiation with a counter or an ionisation chamber. Of course, the chemical reactions must be completed in a few minutes, before the activity has disappeared.

We have irradiated the compound boron nitride (BN). By heating boron nitride with caustic soda, gaseous ammonia is produced. The activity separates from the boron and is carried away with the ammonia. This agrees very well with the hypothesis that the radioactive nucleus is in this case an isotope of nitrogen.

When irradiated aluminium is dissolved in hydrochloric acid, the activity is carried away with the hydrogen in the gaseous state, and can be collected in a tube. The chemical reaction must be the formation of phosphine (PH_3) or silicon hydride (SiH_4). The precipitation of the activity with zirconium phosphate in acid solution seems to indicate that the radio-element is an isotope of phosphorus.

These experiments give the first chemical proof of artificial transmutation, and also the proof of the capture of the α-particle in these reactions.

We propose for the new radio-elements formed by transmutation of boron, magnesium and aluminium, the names *radionitrogen*, *radiosilicon*, *radiophosphorus*.

These elements and similar ones may possibly be formed in different nuclear reactions with other bombarding particles: protons, deutrons, neutrons. For example, $_7N^{13}$ could perhaps be formed by the capture of a deutron in $_6C^{12}$, followed by the emission of a neutron.

[1] Irène Curie and F. Joliot, *J. Phys. et Rad.*, 6, 231, 1934.
[2] Irène Curie and F. Joliot, *C.R.*, **198**, 1931.
[3] Irène Curie et F. Joliot, *C.R.*, meeting of Feb. 25, 1934.

Resim 9.15 Curie ve Joliot 10 Şubat 1934'de *Nature* dergisinde yapay radyoaktiviteyi bulduklarını duyurdular

10

Enrico Fermi ve Çekirdek Enerjisi

Enrico Fermi, Roma'da 29 Eylül 1901'de doğmuştu. Babası Alberto Fermi, İtalyan demiryollarında çalışıyordu; annesi Ida de Gattis ise ilkokul öğretmeniydi. Fermi'nin büyükbabası, kuzey İtalya'daki Piacenza yakınlarındaki toprağı hâlâ kendi sürmekteydi, ama çok çalışarak ve aşırı tutumlulukla ailenin ekonomik durumu epeyce düzelmişti. Enrico'nun doğduğu yıl mütevazi ama güvenli bir evleri vardı.

Enrico Roma'da büyüdü ve orada öğrenime başladı. Herşeyin birincisi, örnek bir öğrenciydi. Henüz çocukken, matematik ve fiziğe karşı yoğun bir ilgi duyduğunu fark etti. On yaşındayken, yetişkinlerle bir konuşması sırasında $x^2 + y^2 = r^2$ eşitliğinin bir çemberi gösterdiğini öğrendikten sonra, cümlenin anlamını kendi kendine çıkarmayı başladı.

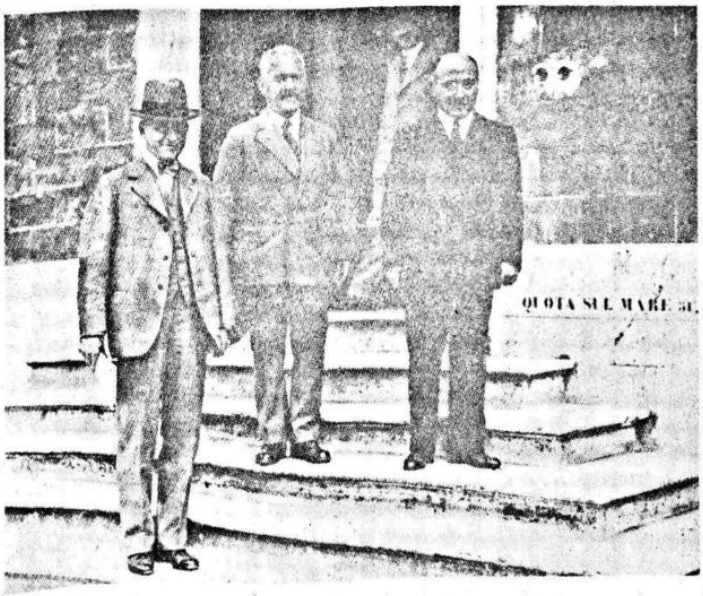
Fermi'nin, bir kaç yaş daha büyük bir ağabeyi vardı ve daha zeki olduğu düşünülürdü. Onbeş yaşındayken, hiç beklenmedik bir biçimde acıklı bir ameliyat hatasıyla öldü ve onu çok seven Enrico müthiş bir şok yaşadı. Derin bir yas döneminden sonra, bir başka ağabeyinin okul arkadaşlarından Enrico Persico ile arkadaşlık kurdu. Ömür boyunca ayrılmadılar, İtalya'nın da ilk iki kuramsal fizik profesörü onlar oldular.

Fermi'nin babasının, yine İtalyan demiryollarında çalışan ve teknik bilgisi epeyce yüksek bir ahbabı vardı, Adolfo Amidei. Amidei, henüz ondört yaşındaki Enrico ile tanıştığında onun sıradışı yeteklerini hemen fark etti. Çocuğa, matematik ve mühendislik kitaplarını verdi ve okuyup anlamasında yardımcı oldu. Genç Enrico, kısa sürede cebir, analiz ve geometri kitaplarını okuyarak ve hocasına göre hiç de kolay olmayan sayısız problem çözerek, sağlam bir matematik eğitimi kazandı. Enrico liseyi bitirdiğinde, Amidei, onu Piza'daki Scuola Normale Sopreiore'da parasız üniversite eğitimi görmesi için burs sınavına

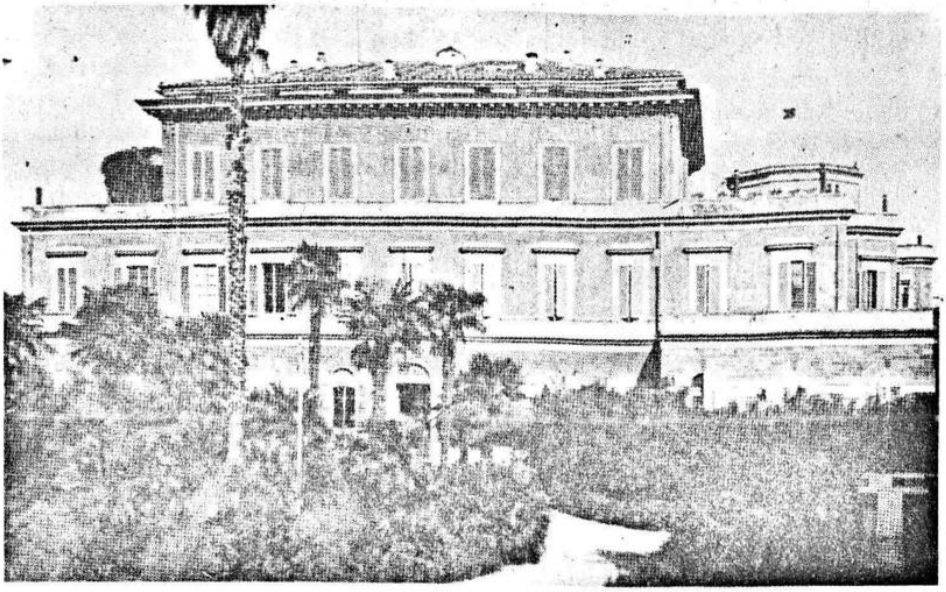
girmeye teşvik etti. Fermi kabul etti ve giriş sınavında birinciliği kolaylıkla elde etti. Scuola Normale, Fermi'nin giriş sınav kağıdını hâlâ saklamaktadır.

Sınavın konusu "Sesin Özellikleri"ydi. Yarım sayfalık bir girişten sonra, adayın titreşen bir teli ayrıntılarıyla anlatması isteniyordu. Fermi, telin kısmi (=partial) türevsel denklemlerini yazdı, özfonksiyonlarını (=eigenfunctions) ve özdeğerlerini buldu, devinimini Fourier irdelemesiyle açımladı ve daha niceleri. Bu güçlükte bir sınavın altından, baştan sona ve kitaplardan yararlanmaksızın, ancak zamanın, hatta günümüzün bile, bir iki doktora öğrencisi kalkabilirdi. Üstelik, kesinlikle hiçbir yanlışlık yapılmamıştı. Sınavı yapan Profesör Pittarelli hayretler içinde kalmıştı; öyle bir koşul olmamasına karşın, adayla yüz yüze görüşmeye karar verdi. Görüşme sırasında Pittarelli, uzun meslek yaşamı boyunca onun gibisini görmediğini söyledi. Fermi, sınavı kazandığına artık emindi ve parlak bir kariyer önünde bekliyordu. Bütün bunları bana, Pittarelli için övgü dolu sözlerle, Fermi anlatmıştı bana.

Scuola Normale'de, Fermi kendi başına çalışmak zorundaydı; öğretmenleri kütüphanede bulduğu kitaplardı. Arkadaşı Persico'ya yazdığı mektuplarda Fermi, gelişmesini ayrıntılarıyla yansıtır. Bir yıl sonra, Presico'ya yazdığı satırlara göre (ki, hiç de kendini öven bir üslupla değil) Pisa Üniversitesi'nde paketçil kuramı ve görelilik üzerine en üst yetke sayılmaya başlamıştı. Fermi Pisa'da bir başka yakın arkadaş edindi, kendisinden, az sonra söz edecek olduğum Franco Rasetti. 1922'de doktorasını aldıktan hemen sonra, üniversiteden Fizik Enstitüsü yöneticiliği çağrısı aldığı Roma'ya ailesinin yanına döndü (Resimler 10.1, 10.2) İşte Fermi'nin kendi satırlarıyla ilk karşılaşma:



Resim 10.1 Orso Mario Corbino, fizikçi ve politikacı (sağda). Corbino'nun yanındakiler, A. Sommerfeld (ortada) ve R. A. Millikan (solda). Fermi'ye Roma Üniversitesinde kadro sağlayan ve Roma'da bir fizik merkezinin gelişmesine ön ayak olan Corbino'ydu. (Kaliforniya Teknoloji Enstitüsü.)



Resim 10.2 Roma Via panisperna'daki Fizik Enstitüsü

1922'deki mezuniyetimin hemen arkasından Roma'dönüşümde Senatör O. M.Corbino ile tanıştırıldım. O zaman yirmi yaşındaydım; Corbino da kırk altı. Kraliyet Senatörü'ydü, Halk Eğitimi Bakanlığı yapmış ve o zamandan sonra burslar dünyasının dünyasının en öndegelen kişilerinden biri olmuştu. Böylece anlaşılabilir bir çekingenlikle kendimi ona tanıtmıştım, benimle çok içten ve ilginç bir tavırla araştırmalarım hakkında tartışmaya başlayınca, çekingenliğim silindi. O dönem, hemen her gün görüşür ve salt berraklaşmamış görüşlerimi arındırmaya yardımcı olmakla kalmayıp, aynı zamanda yüksek lisansa yönelmiş bir öğrencinin derin saygısını içimde uyandıran bilimsel tartışmalara girişirdik. Bu saygı, işliğinde araştırma yapma ayrıcalığına eriştiğim yıllarda giderek arttı. Bu duyguları, onu tanımış herkesin iyi bildiğine eminim. Candan davranışları, en küçük bir kırıklığa bile yolaçmaksızın en sevimsiz gerçekleri zeki ve nükteli bir üplupla söyleyebilmesi, mükemmel içtenliği ve insani sorunlar kadar bilimsel sorunlara karşı duyduğu ilgi, onu hemencecik sevip hayranlık duymanıza yol açardı. [Fermi, Toplu Eserleri, cilt 1. s. 1017 (Şikago Üniversitesi Yayınları, 1962]

Roma'daki Buluşlar

Corbino'nun bir düşü vardı: İtalya'da fiziği yeniden canlandırmak. Çok takdir ettiği Volta ve Avogadro zamanındaki o görkemli dönemden bu yana geçen yaklaşık bir yüzyıl içinde İtalyan bilimi tam bir iç sıkıntısı halindeydi. Zeki, geniş yürekli ve hep olduğunca kıskançlıktan uzak Corbino, Fermi'de hemencecik düşünü gerçekleştirmede yararlanabileceği olanakları görmüştü. Bu yüzden onu cesaretlendirmiş, korumuş ve ona bıkıp usanmadan yardım etmiştir. İtalya Hükümeti'nden ve Rockefeller kuruluşundan sağladığı bursla, Fermi Almanya ve Hollanda'ya giderek uluslararası fizik topluluğuyla ilişkiye girdi. Böylelikle, Pisa'daki öğrencilik yıllarında zihnen uzaklaştığı İtalyan taşralılık kabuğunu gerçek anlamıyla da kırmış oldu.

Fermi Almanya'ya gittiğinde Göttingen'de bir süre Born ile birlikte kaldı. Orada Heisenberg ve Pauli ile tanıştı, ama anlatıldığı kadarıyla, epeyce yalıtılmış bir konumda kaldığı için pek başarılı olamadı. Leyden'de ise yeteneğini fark edip onu cesaretlendiren Ehrenfest sayesinde daha iyi bir şans yakaladı. İtalya'ya geri dönüşünde, Floransa'da geçici bir süre için öğretmenlik yaptı. Sardunya'daki bir kadro çekişmesinde uğradığı küçük bir başarısızlıktan sonra Carbino ona Roma Üniversitesi'nde kuramsal fizik alanında sağlam bir kadro sağladı. İtalya'da bu konudaki ilk kadroydu ve o kadroya ilk kez Fermi atanmıştı. Persico da, aynı zamanda, kuramsal fizik alanında açılmış yeni bir kadro için Floransa'ya gitti. 1927'deki bu olaylardan sonra Fermi, Pauli'nin dışında tutma ilkesine uyan parçacıklar için halen adıyla anılan istatistiği bularak, uluslararası ün kazanmaya başladı.

Bazı parçacıkların aynılığını hesaba katabilmek için klasik istatistiksel devinbilimde gereken değişikliklerin Bose ve Einstein tarafından nasıl bulgulandığına Bölüm 5'de değinmiştik. Özelde, Bose bu düşünceleri ışık paketçiklerine, Einstein da moleküllere uygulamıştı. Ne var ki, Bose ile Einstein'ın sayma yöntemleri, dışında tutma ilkesi o zamanlar henüz bilinmediğinden bu ilkenin koyduğu kısıtlamaları hesaba katmıyordu. Bose-Einstein istatistiği, bu tür kısıtlamalar altında bulunmayan parçacıklar için geçerlidir; bu parçacıklara bozonlar denir ve tamsayılı bükümleri vardır. 1, 3 gibi tek tamsayıların yarısına eşit bükümlü olan parçacıklarsa dışında tutma ilkesine uyarlar ve bunlar için Fermi istatistiğini kullanmak gereklidir. Bu tür parçacıklara da fermiyonlar denir. Daha başkalarının yanı sıra elektronlar, protonlar ve nötronlar fermiyon olduğu için Fermi istatistiğinin çok geniş bir uygulayım alanı vardır; örneğin, metaller hakkındaki tüm araştırmaların temelidir.

Fermi, Roma'ya yerleştikten sonra, her zaman olduğu gibi yine Corbino'nun yardımıyla, Franco Rasetti'ye de (d. 1902) orada bir kadro sağladı ve böylece ikisi, geleceği parlak bir öğrenci grubu oluşturmaya başladı. Zaman sırasıyla: Ben, Ettore Majarona, Edoardo Amaldi ve tümü de öğrenmeye istekli ve yetenekli daha bir kaç kişi, o küçük çeteye katıldık. Roma'daki bu okul başlangıçta, ağırlıkla optik tayfölçüm ve atom kuramı üzerine çalışıyordu, ama Fermi ve arkadaşlarının yeni konuların daha umut verici ve geleceğin de çekirdek fiziğinde olduğunu fark etmesiyle, yön değiştirdi. Bu değişiklik, kuşkusuz, zaman ve çaba harcamayı gerektirdi, ama sonunda bedelini de bol bol ödedi.

Fermi'nin 1933 yılı sonunda, temel bir sorun olan beta bozunumunu çözmedeki başarısına daha önce değinmiştik. Bu araştırma, salt sonuçları yönünden değil ama yeğin (=strong) (Ç:N. 76) etkileşme kuramı için H. Yukawa'ya bir esin kaynağı ve örnek oluşturması nedeniyle de, son derece önemliydi. Bu konuyu Bölüm 12'de tartışacağız. Fermi'nin beta bozunumu kuramı şimdilik zamanın sınaması altında bulunmaktadır ve zaman geçtikçe büyük önem kazandığı görülmektedir.

Roma, kuramsal fizikte olduğu kadar, deneysel fizik alanında da dünya çapında ün kazanmış bir merkezdir. İşte bunun öyküsü:

Çok önemli bir keşif olan yapay ışımaetkinliğin eksiksiz açıklanabilmesi için şu konuda bir ilerleme sağlanması gerekiyordu: nötronların mermi olarak kullanımı. Curie ve Joliot, öncü araştırmalarında, alüminyuma çapran her bir milyon tane alfa parçacığının ancak bir tanesinde bozunum elde ediyorlardı. Bu düşük verimliliğin temel nedeni, alüminyum çekirdeğinin, alfa parçacıklarını elektrostatik etkiyle itmesi ve onun hedefteki çekirdekle temasını engellemesiydi. Bu aşamada Fermi, şunu fark etti, nötronlar için böyle bir elektrostatik etki söz konusu olamazdı ve sonuçta tam verimlilik elde edilebilirdi. Öte yandan, berilyum ve doğal ışımaetkin alfa ışıyıcıları fırlattıkları alfa parçacıklarına kıyasla çok az sayıda nötron yayımlamakta, çünkü nötronlar ancak kaynaktaki bir bozunum sırasında ortaya çıkmaktaydılar. Bununla birlikte, atom numarası 4 olan beliryum kolaylıkla özdek içine girebilmekteydi. Nötronların kullanımı, biçimsel olarak, berilyumun her öge içine girebilmesine benziyiyordu. Özellikle, Z'si 10'dan büyük ögeler için, nötronlar doğal kaynaklarla tepkime yaratabilen biricik olanaktı. Bu basit değerlendirmeler, Fermi'ye nötronları mermi olarak kullanma düşüncesini esinledi. Bu küçücük kımıltı, hiç beklenmedik gelişmelere yol açtı.

Fermi, ilkin, eli altındaki tüm ögeleri artan atom numarası sırasıyla ışıma altında tutmaya başladı. Hidrojen, lityum, berilyum, boron, karbon, azot ve oksijende başarı sağlayamadı, ama ısrarlıydı, sonunda flor ışımaetkinlik gösterdi..

Sonraki üç yıl için ivedi ve yoğun bir çalışma dönemi izlendi. Fermi ve çalışma arkadaşları, Amaldi, O. D. Agostino, Rassetti ve ben (ve daha sonra katılan B. Pontecorvo), önce kırk kadar yeni ışımaetkin özdek türü keşfetti. Bunun çok büyük bir kuramsal ve pratik önemi vardı. Çekirdek sistematiği çalışmaları için büyük bir malzeme artışı sağladığı gibi zaman içinde hemen tüm kimyasal özdek türlerinin ışımaetkin izciler olarak kullanımına yol açıp böylelikle kimyasal ve yaşambilimsel yöntemlerde devrim yarattı.

1934 ilkbaharında, o zaman bilinen en ağır ögeyi - uranyumu ışımaya tuttuk. Birçok ışımaetkin evre ve yeni özdek türü bulduk. Diğer tüm ögeler için (n, α), (n,p) ve (n γ) tepkimelerinden bir ya da birkaçının ortaya çıktığını saptadık. Üstelik, uranyum içinde üretilen ışımaetkinliklerin hiçbirinin kurşundan daha büyük atom numarasına sahip ögelerden her-

(Ç.N. 76) "Strong interaction" karşılığı olarak, "güçlü etkileşme" deyimi Türkçemizde yer etmeye başlamıştır. Oysa "güç" ile "kuvvet" farklı birimsel boyutları olan niceliklerdir.

hangibirine ait olamayacağını, kimyasal yöntemlerin yardımıyla gösterdik. O zaman, uranötesi ögeleri ürettiğimizi düşündük, örneğin U^{238}, (n,γ) tepkimesiyle U^{239}'e, o da beta bozunmasıyla 93^{239}'a (Ç.N. 77) dönüşüyordu. Oysa yanılıyorduk, hiç değilse bir bölümünde; uranötesi ögelerin (aralarında yukarıda tanımlanan tepkime de bulunmak üzere) yaratıldığı doğruydu, ama biz daha farklı birşey gözlemiştik. Deneylerimizi, Paris'de Curie ile Joliot ve Berlin'de Hahn ile Meitner yineleyip daha da geliştirdiler. Sonuçlarımızın çoğunu doğruladılar, ama araştırmalarını genişleterek daha birçok yeni özdek türleri ve bozunumun izleyebileceği daha karmaşık yolların varlığını düşünmeye zorlandılar. Ortaya çıkartılan özdekler arasındaki genetik ilişkiler üstüne anlamlı varsayımlar üretebilmek ve onları periyodik sistemin sonuna yerleştirmenin güçlüğü giderek arttı. Bu giz yüzünden müthiş rahatsız olduğumuz izlenimine kapılmıştık ama kuşkusuz onun ne olabileceği konusunda da en ufak bir sezgiden yoksunduk.

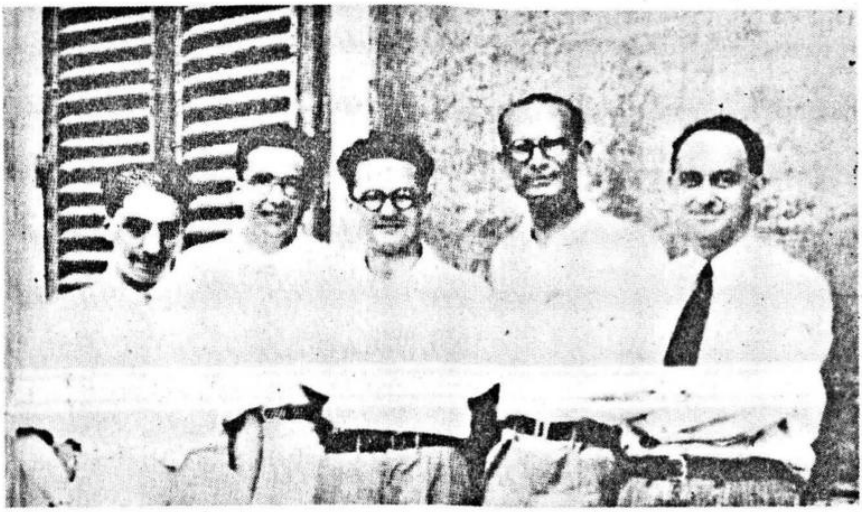
Sonuçlarımızı da çekingenlik içinde değerlendiriyorduk. Fermi, deneylerin yorumu hakkında endişe duyduğundan, yeni varsayımsal ögelerin adlandırılmasına da sürekli olarak karşı çıkıyordu. Fermi, bir faşizm ürünü olan, İtalyan Akademisi üyesiydi ve 1934'lerde İtalya'da, reklamın hiçbir biçiminden kişisel olarak hoşlanmamasına karşın, bilim çevrelerinin dışında bile çok ünlüydü. Açıkça baskılar değilse bile, yeni varsayımsal ögelere, Littorio gibi (Lictorlar, (Ç.N. 78) mesleklerinin işaretini taşıyan Romalı yüksek devlet görevlileriydi.) bazı faşistleri anımsatan adlar koyarak faşist rejimin görkemine görkem katması için teklifler yapıldığına eminim. O müthiş nüktedan ve hazırcevap Corbino, yeni ögelerin çok kısa ömürlü olduklarına dikkat çekmiş belki de bu yüzden faşizmin kutsanmasında yeni ögeler kullanılmasının çekiciliğini silmişti. Ancak 1938'deki Nobel konuşmasında Fermi, yeni ögelere denemelik adlar koymuştu. Ama bu, çok kötü bir zamana raslamıştı; aynı sıralarda Hahn ve Strassmann çekirdek bölünmesini keşfediyorlar, böylelikle de (diplomatik dil kullanmak gerekirse) o ögelerin kimyasının yanlış olduğunu kanıtlıyorlardı.

Ne var ki, 1934 sonbaharında çok büyük bir sürprizle karşılaştık. Biraz şans, biraz da iyi gözlem sayesinde, radonla karışık berilyumdan fırlayarak dosdoğru gelen nötronlara kıyasla parafinle fitrelenmiş nötronların çekirdek tepkimeleri üretmekte daha etkin olduklarını bulduk. Olguların gerçekliği kesinlendikten sonra, Fermi şu açıklamayı ileri sürdü; nötronlar parafinden geçerken esnek çarpışmalarla yavaşlıyor ve bu yavaş nötronlar bazı belirgin çekirdek tepkimelerinde hızlılara kıyasla daha etkin rol oynuyordu.

Birkaç saat içinde bu varsayımın denetim kontrollarını yapıp, etkiyi keşfettiğimiz 22 Ekim 1922 gününün akşamında, olguları ve yorumunu içeren bir sayfalık bir not yazıp Fermi, Amaldi, Pontecorvo, Rasetti ve Segrè diye imzaladık (Resim 10.3). O makale, yazarlarının tümü için meslek yaşamlarının şaheseri sayıldı. Yavaş nötronların geniş kullanım olasılıkları Corbino'nun dikkatinden kaçmadı ve patent almamız için ısrar etti. O günlerde zaten hiç kimse, yavaş nötronların çekirdek enerjisinin anahtarı olduğundan kuşkulanmıyordu.

(Ç.N. 77) Burada, 92 olan uranyumunun atom numarası bir artmış, böylelikle adı henüz konmamış yeni bir öge elde edilmiş sanıldığı için simge kullanılmamıştır.

(Ç.N. 78) Ya da bilimizde bilinen adıyla Lektörler...



Resim 10.3 Nötronlarca uyarılmış ışımaetkinlik hakkındaki makalenin yazarları. Soldan başlayarak, O. D'Agostino, E. Segrè, E. Amaldi, F. Rassetti, E. Fermi. Bu fotoğrafta bulunmayan B. Pontecorvo da 22 Ekim 1934'de yazılmış makalenin imzacıları arasındaydı. (Fotoğraf; E. Segrè.)

Etyopya savaşı, İspanya İçsavaşı ve II. Dünya Savaşı'nın öteki habercileriyle birlikte 1935'e ulaşmıştık. Bilgili ve düşünen insanlara göre Avrupa'nın bir felakete sürüklenmekte olduğu apaçıktı. Bu sıralarda, çeşitli nedenlerden ötürü Roma grubu dağıldı: Rasseti, içinde bulunduğu durumdan korkuya kapılıp ve tiksinerek Amerika'ya gitti, ben Roma'dan görece olarak uzak sayılabilecek Palermo'da (Sicilya) bir fizik kadrosu elde ettim; Pontecorvo Paris'e gidip Joliot'a katıldı; Fermi ve Amaldi, Roma'da yalnız kaldı. 1937'de, ne yazık ki Corbino hiç beklenmedik bir biçimde öldü. Gitgide daha da bozulan durum, grubun yok oluşunu daha da hızlandırdı. İtalya'nın Almanya'ya teslimi anlamına gelen Roma-Berlin (Berlin'den bakışla Berlin-Roma) Ekseni, İtalya'da Yahudi karşıtı yasaların resmi ilanı ve öteki çılgın politikalar peşinde koşmalar durumu dayanılmaz bir hale soktu.

Parçalanmanın Bulunuşu

1938'de Bohr Fermi'ye, çok büyük olasılıkla o yılın nobel ödülünü kazanacağını söyledi. O zamanlar hüküm süren olağandışı koşulların dayatmasıyla, eşi benzeri görülmemiş, güven yaralayacı ve maksatlı bir ayrımcılık yapılıyordu. Bunun üzerine Fermi İtalya'dan ayrılmaya karar verdi ve Nobel Ödülü'nü aldıktan sonra eşi ve çocuklarıyla doğru New York'a gitti. Daha önce de ziyaret ettiği Colombiya Üniversitesi, kollarını açıp onu bağrına bastı.

Nobel törenleri için Fermi'nin Stokholm'de bulunduğu günlerde Hahn ile Strassmann da parçalanmayı keşfetmişlerdi. Bu çarpıcı buluşu Bohr, bir kaç gün sonra, tam da bir dizi

ders vermek için Princeton'a gitmek üzereyken öğrenmişti. Fermi o sıralarda New York'a henüz ulaşmış ama, buluş hakkında tek sözcük olsun duymamıştı.

Hahn ile Strassmann, nötronla bombalanmış uranyum ürünleri içinde ışımaetkin radyumu bulmuşlardı. Buldukları onları da şaşkına çevirmişti ama sağlam deneysel koşullar yüzünden bu sonuç son derece inandırıcıydı. Konuyu, buluşlarını duyurdukları makalede şöyle yorumlamışlardı:

> *Bu incelemelerin sonucu olarak, daha önceki bozunum şemalarımızda sözünü ettiğimiz bazı özdek adlarını değiştirmemiz ve önceleri radyum, aktinyum ve toryum dediğimiz özdeklere baryum, lantan ve seryum dememiz gerekiyor. Fiziğe yakın çekirdek kimyacıları olarak biz, istemeye istemeye de olsa çekirdek fiziğinin önceki tüm deneyimleriyle çelişkili olan bu adımı atmalıyız. [Naturwissenschaften 27, 11 (1939)]*

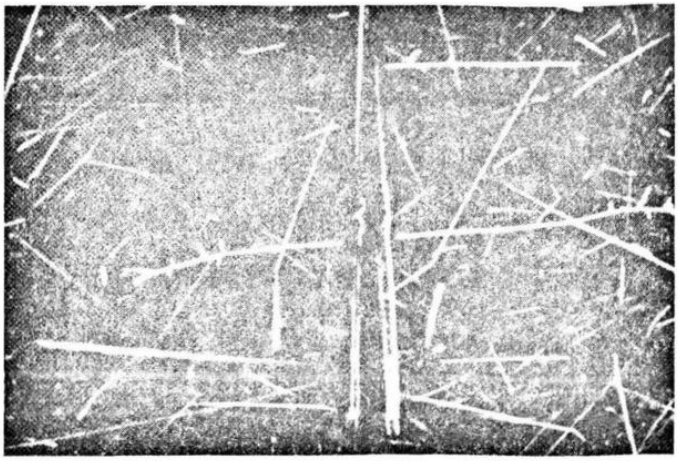
Buradaki Hahn, kuşkusuz, Rutherfort'un Kanada'daki ilk müritlerinden bir olarak gördüğümüz Hahn ile aynı kişidir. Fritz Strassman (d.1902) (Ç.N. 79) Hahn'ın öğrencisiydi; Nazi düşmanlığına karşın Kaiser Wilhelm Enstitüsü'ndeki görevini korumayı başarmıştı. Atom bölünmesini keşfettiğinde 59 yaşındaydı. Böylece, o parlak meslek yaşamını en büyük buluşlarından birisiyle kapattı. Emekli oldu, ama, aralarında uranyumun nötronla bombalanmasının ortaya çıkardığı ürünlerin araştırılması da olmak üzere bir çok araştırmada yıllarca birlikte çalıştığı Lise Meitner (1878-1968) yanında bulunamadı (Resimler 10.4, 10.5). Hahn'ın ve öteki önemli bilimcilerin çabaları, tatlı Lise'i Hitler'in ırkçı şiddetinden korumaya yetmediğinden, ülkeden kaçarak hayatını kurtarmak zorunda kalmıştı. Lise, yine de Hitler, anavatanı Avusturya'yı işgal edene dek, Berlin'de kalıp araştırmalarını sürdürmeyi başarmıştı. Anschluss'dan beridir ölüm tehlikesiyle karşı karşıyaydı. Hollandalı arkadaşların yardımıyla Almanya'dan kaçarak Hollanda'ya oradan da, huzur bulduğu İsveç'e geçti. Hahn, doğruluğundan emin olur olmaz, sarsıcı deneyinin sonuçlarını Lise'a da yazdı. Meitner mektubu, Noel tatilinden yararlanarak ziyaretine gelmiş olan yeğeni Otto Frisch'e gösterdi. (Frisch'i, O. Stern'in çalışma arkadaşı olarak görmüştük.)

Frisch de o günlerde Kopenhag'da mülteciydi. Frisch ve teyzesi, Hahn'ın sonucunun nasıl açıklanabileceği üzerinde kafa yoruyorlardı. Sonuçlar, tartışmaya yer bırakmayacak kadar kesin görünüyordu, dolayısıyla da bir açıklamanın bulunması gerekiyordu. Sonunda şafak söktü, belki de uranyum çekirdeği iki büyük parça ayrılıyordu - ya da onların deyimiyle bölünüyordu (=fission). Bu olgu 1935 kadar erken bir tarihte bir bayan kimyacı tarafından ileri sürülmüştü - İda Noddack, bizim kendi Roma deneylerimizinden bazılarını eleştirdiği bir notunda; uranyumun iki büyük parçaya ayrılmadığını kanıtlamadığımızı belirterek karşı çıkmıştı. Bu makaleden haberimiz vardı, Hahn ile Meitner'in de, Curie ile Joliot'un da ve tahminen daha birçok başka yerdekiler gibi Cavendish'dekilerin de; ama gelgelelim, hakkıyla değerlendirilmemişti. Dahası Noddack, bu görüşünü doğrulamak üzere bazı yalın sayılabilecek deneyler bile yapmıştı.

(Ç.N. 79) Fritz Strassmann 22 Nisan 1980'de Mainz'de ölmüştür.

Resim 10.4 Lise Meitner(1878-1968) 1937 yılında Plank'ın yardımcısıydı. Sonra, Berlin Dahlem'deki Kaiser Wilhelm Enstitüsü'ne araştırmacı olarak girdi ve çoğunluk O. Hahn'la birlikte çekirdek problemleri üzerinde çalıştı. Sonra da Nazilerin baskısı yüzünden ülkesinden kaçmak zorunda kaldı. Çekirdek bölünmesinin bulunuşuna seçkin katkılar yapmıştı. (Fotoğraf; E. Segrè.)

Bölünme, Ocak 1939'da anlaşılır anlaşılmaz; Frisch, iyonlaştırma odasına bağlı bir doğrusal yükseltici kullanarak, bölünme parçalarının vuru (=pulse) yaratıp yaratmadığını araştırdı ve yüksek vurular buldu. Bu deney, Hahn ile Strassman'ın sonuçları hakkındaki yorumunu pekiştirdi. daha birçok başka fizikçi de sonucu hemen sınayarak doğruladı. Bölünmenin duyurulduğu bir iki gün içinde, deneysel doğrulama elde eden dört ya da beş grup olduğunu ben biliyorum. Bölünmeyi Roma'da niçin bizim bul(a)madığımız sorulabilir. Bölünmeyi tanıtlamaya çok yaklaştığımız bir deney gerçekleştirmiştik. Uranyumu nötronla bombalamanın yarattığı, olası kısa ömürlü alfa ışımaetkinliğini görebilmek için, bu tür etkinliklerde yüksek enerjili alfa parçacıklarının fırlatılması gerektiğini varsaymıştık. Bu uzun erimli alfaları durdurmak için örneğimizi alüminyum bir barakla sarmıştık, sonuçta da herhangi birşey gözlemleyemedik. Alüminyum barağı çıkarmış olsaydık, bölünme parçalarının yarattığı o müthiş yüksek iyonlaşma vurularını görmüş olacaktık. Görmüş ol-



Resim 10.5 Nötronların yol açtığı bir uranyum çekirdeğinin bölünmesi. Dik yerleştirilip üzerine uranyum sürülmüş ince bir levhadan çıkan iki parça, neredeyse tümüyle yatay ve çarpışmaların yol açtığı yana doğru küçük dallarıyla fark edilmektedir. [Kaynak; I. K. Bøggild, *Physical Review* 76, 988 (1949).]

saydık bile bunları doğrulukla yorumlayıp yorumlayamayacağımız da merak edilebilir. Buna benzer deneylerin yapıldığı başka bazı işliklerde, alıcıların (=dedector) bozulduğunu sandıklarını duymuştum. İnsan, genellikle, sadece bulmayı umduğu şeyleri buluyor, tıpkı x-ışınlarında, nötronda ve pozitronda olduğu gibi...

Atom Bombasına Boğru

Bölünme olgusundan zincirleme tepkiye giden yol, kağıt üstünde kısadır. Bölünme parçaları, aynı kütle numarasına sahip dengeli çekirdeklere kıyasla birkaç tane fazlalık nötrona sahip olmak zorundadır (Ç.N. 80). Bu fazlalık ya yavaş beta bozunumu süreciyle, ya da yeterli enerji varsa doğrudan doğruya nötron fırlatılmasıyla giderilir. İkinci aşamada, ikincil nötronlar yeni bölünmeler oluşturmakta kullanılabilir ve sayıları yeterliyse, bir önceki aşamadakinden çok daha fazla sayıda nötron üretetirler. Böylelikle ıraksak (=divergent) bir zincirleme tepkime elde edilebilir. Eğer bu zincirleme tepki, çok hızlı ve denetimsiz bir biçimde gerçekleşirse, şiddetli bir patlamaya yol açar, bu da atom, daha kesin deyimiyle çekirdek bombası demektir. Öte yandan, tepkime denetim altına alınır da dengeye konursa, enerji kaynağı elde edilebilir. Atom bombası ve çekirdek enerjisine çıkan bu iki yolun her ikisi de, bilim ve teknolojinin hemen her uygulamasında olduğu gibi - Janus benzeri bir ayı-

(Ç.N. 80) Çekirdek büyüdükçe, içindeki nötron-proton oranı, 1'i aşıp nötron lehine daha da büyümeğe başlar.

rım (Ç.N.81) - açıktır. Bu tür fikirler birçok fizikçinin kafasında oluştu; bazıları kendine sakladı, bazıları da patent almaya çalıştı.

Olası sonuçların korkusuyla konunun tümünü gizli tutup, gelişmesini engellemek ya da geciktirmek amacıyla bazı fizikçiler tarafından bir girişim de başlatılmıştı. Bu girişim bazı pratik nedenler yüzünden sekteye uğradı. Fermi, bölünmeyi deneysel yoldan araştırmaya karar verdi ve Kolombiya Üniversitesi'nde alçakgönüllü ölçeklerde çalışmaya başladı. Zincirleme tepkinin bir hayal mi yoksa ciddi bir olasılık mı olduğuna karar vermeye yetecek ölçüde, bölünme sürecine ilişkin ayrıntı elde etmek istiyordu. Bu büyülü araştırmanın ayrıntılarını aktarmak şimdi epeyce yer tutar. Herhangi bir eşil ayrımına başvurulmamış doğal özdekler için zincirleme tepkime sık raslanmayan, zar zor olası bir süreçtir. Dolayısıyla, gerçekleşip gerçekleşmeyeceğine karar vermek zordur.

Ne var ki, daha önce eşi benzeri görülmemiş çekirdeksel patlayıcıların bilim kurgusu ürünü olmadığı ama, hele peşindekilerden biri de Adolf Hitler ise, kesinlikle ciddiye alınması gereken birşey olduğu giderek açık seçik ortaya çıktı. Atom enerjisinin sorunlarını araştırıp çözmeye ve onlara dikkat çekmeye çalışan ilk fizikçiler arasında, Macar L. Szilard, E. Wigner, E. Teller; Avusturyalı V. Weisskopf ve tümünün üzerinde Fermi vardı. Derken, tarihte ilk ve tek kez, birçok Amerikalı fizikçi gönüllü olarak yerini yurdunu bırakıp bu amaçla bir araya geldi. Deneylere başlandı. Yine gönüllü olarak araştırmalara gizlilik koşulu getirildi. Ağustos 1939'da Szilard ve öteki Macar etkinciler, ilerlemenin yavaşlığından endişe duyarak Başkan Roosevelt ile doğrudan ilişkiye geçmeyi tasarladılar. Einstein, durumu ve olası sonuçlarını başkana açıklayan bir mektubu imzalamaya ikna edildi. Fermi de birkaç ay önce benzeri girişimlerde bulanarak B. D. Deniz Kuvvetleri temsilcilerini uyarmıştı, ama devlet çarkları yavaş dönüyordu ve devletin başlangıçtaki yardımı pek cılızdı. Birleşik Devletlerde bunlar olurken, Birleşik Krallıkta, Fransa'da ve Almanya'da da benzer çabalar ortaya çıkmaya başlamıştı.

Bu arada Bohr, U^{238}'in sadece 1 Mev'den daha yüksek enerjili nötronlarla bombalanırsa bölündüğü, yoksa yavaş nötronların doğal uranyum içinde 1/137 oranında bulunan ender U^{235} eşilini bölünmeye uğratabileceğine ilişkin bir kuramsal temel ileri sürmüştü. A. Nier ve J. R. Dunning kısa süre içinde bu varsayımı deneyle doğruladılar. Dolayısıyla, bir uranyum bombası yapmak için eşillerin ayrıştırılması gerekiyordu. Bu da, en iyimserlerin dışında tüm fizikçileri ürküten umutsuz bir girişimdi.

Uranötesi Ögeler

1940'da E. McMillan and P. Abelson, *neptünyum* (Np^{239}) adını verdikleri ilk uranötesi ögeyi ayrıştırmayı başardılar. Bu özdeğin, 94 ögesinin oldukça uzun ömürlü bir eşiline bo-

(Ç.N. 81) Yunan mitolojisinden bir kahraman, 'Binbir Surat'a benzer.

zunacağı da akla yakın beklentiler arasındaydı. 1940 Noeli günlerinde New York'a yaptığım bir ziyaret sırasında, Fermi'yle, sonradan plütonyum 239 - Pu^{239} adı verilen bu 239 kütleli ve 94 atom numaralı çekirdeğin beklenir özellikleri üzerine uzun uzun konuşmuştuk. Özellikle de, yavaş nötronlarla bombalandığında bölünmeye uğraması kadar ömrünün olası uzunluğu ilgimizi çekiyordu. Eğer durum gerçekten buysa, U^{235}'e bir seçenek oluşturabilir ve eşillerin ayrıştırılma zorunluluğunu ortadan kaldırabilirdi. Kuşkusuz, yeni özdekten ele gelir miktarda bile üretebilmek için bir çekirdek reaktörü inşa etmek gerekiyordu, böylesi bir reaktör için de doğal uranyum uygun bir yakıt olacaktı.

Teknetyum ve astatin üzerine yaptığım incelemeler sırasında yapay kimyasal ögeler üzerine biraz deneyim sahibi olmuş ve doğru düzgün tanımlayamamış da olsam neptünyum üzerinde de çalışmıştım.

Plütonyum yaklaşımının doğruluğunun kanıtlanması amacıyla, çekirdek özelliklerinin - özellikle de yavaş nötronların bombardımanı altında ne oranda bölünmeye uğrayacağının, ya da teknik bir deyimle, yavaş nötronlara karşı bölünme kesitinin ne olacağının kesinlenmesi için bu yapay ögeden yeterli miktarda üretmek gerekiyordu. U^{235} yerine kullanılabilirse, bir bomba yapımına yetecek ölçüde üretilebileceği de açığa çıkmış olacaktı. Bu hiç de küçük bir girişim değildi. Seçeneği olan eşillerin ayrıştırılması, kesinlikle hem müthiş zor hem de çok pahalıydı. 1941'in ilk aylarında, J. W. Kennedy, G. T. Seaborg, A. C. Wahl ve ben, Berkeley'deki siklotronda yaklaşık 1 mikrogram kadar Pu^{239} üretip, çekirdeksel yakıt olarak kullanılabileceğini kanıtladık.

Şimdi, bir atom bombası yapmanın iki seçeneği vardı: uranyum eşillerini ayrıştırmak ya da yeterli miktarda plütonyum üretmek. Eşil ayrıştırılması, ya büyük kütle tayf ölçerlerinden kurulacak bir takım inşa ederek ya da gaz yayılımı yoluyla sağlanabilirdi. Plütonyum üretimi ise, ilkin onu üretecek bir çekirdek reaktörünün inşasını ve sonra da onu ayrıştırıp saflaştıracak bir kimya endüstrisünü gerekli kılıyordu. Yapay ivmelendirilmiş yüklü parçacıklar kullanarak, çekirdek bombardımanı sırasında yeterli miktarda plütonyumun üretebilmenin başka hiçbir yolu yoktu.

Patlayıcı U^{235} ya da Pu^{239} bir kez elde edildikten sonra da, bir de atom bombasının doğru düzgün yapılması gerekiyordu. (Ç. N. 82)

Gezgin Fizik

Çekirdek enerjisi ve çekirdek silahlarına yol açan o müthiş karmaşık serüvenin bilimsel özellikleri hakkında bilgi vermeden önce, resmi tarihine ana hatlarıyla değineceğim. Fi-

(Ç.N. 82) Yazar, 'kritik kütle'yi anıştırıyor. Bugün artık, üniversite giriş sınavlarında bile soruluyor olmasına karşın bir zamanlar devlet sırrı sayılıp, açıkladığından kuşku duyulanları idama sürüklemiş olan bu değerden, E Segrè'nin, 1980 yılında bile açıkça söz etmekten çekiniyor olması ilginç sayılabilir

zikçilerin, başlardaki, çoğu kendi kendine yürüttükleri etkinliklerinden söz etmiştim. Burada dikkat çekici bir özellik, başlatıcıların çoğunlukla Avrupalı olmasıydı. A.B. D. hükümetince sağlanan desteğinin ölçeği küçüktü; Kolombiya Üniversitesi'ne Şubat 1940'da bağışlanan 6.000$ ve Kasım 1940'dan Kasım 1941'e dek 12 ay için verilen 40.000$, büyük meblağlardaki devlet yardımları arasında sayılabilir.

Savaşın başında B. D. hükümeti ve en etkin Amerikalı fizikçiler, radar ve benzeri öteki acil projelerle meşguldü. Çekirdek enerjisinin açığa çıkarılışının pratik olasılıklarından kuşku duyuyorlardı, gelgelelim, ivedi gereksinmeler herşeyin üstündeydi. Böylesi bir kriz döneminde personel ve malzeme kaynaklarını çekirdek enerjisi ve patlayıcıları için seferber etmeyi sağlamak da uzak ve kesin olmayan bir olasılıkmış gibi görünüyordu. Öte yandan, Büyük Britanya'da bilimsel kuruluşlar çekirdek çalışmalarını özendiriyor, bu örnek de İngiliz meslekdaşlarıyla sürekli temas halinde olan Amerikan bilim önderlerini epeyce etkiliyordu.

Birleşik Devletler hükümeti konuya 1940-1941 yıllarında ciddiyetle eğildi. Bir çok komite oluşturuldu, yeniden kuruldu ya da dağıtıldı ve sonuçta Ulusal Savunma Araştırma Komitesi (USAK=NGRC) 1940 Haziran'ında ortaya çıktı. Bu etkili komitenin başına bir mucit ve MIT'de elektrik mühendisi olan Profesör Vannevar Bush getirildi. Devlet Başkan USAK'a, arasında uranyum sorununu görüşüp bir karar bağlamanın da bulunduğu çok geniş görev ve yetkiler vermişti. Harvard Üniversitesi'nin başkanı ve bir organik kimyacı olan J. B. Conant, Bush'un çekirdekle ilgili konulardaki temsilcisiydi. Ulusal Bilimler Akademisi'ndeki görüşmeler, çekirdek enerjisinin olanaklarını ve önemini doğruluyordu.

1941 sonlarında derin bir psikolojik değişiklik ortaya çıktı. Smyth raporundaki sözlerle; "Sanırım, Wigner, Szilard ve Fermi, atom bombasının olabilirliği konusunda 1940'daki kadar inançlı değiller, ama başkaları bu düşünce ve olası sonuçlarıyla yakından ilgilenmeye başladılar. Açıkcası, birbiriyle savaşmakta olan İngiliz ve Almanlar, bu soruna gereken değeri veriyorlar..." Sözün kısası, bu konuda gayretin tümünün gösterilmesi kararı alındı. En üst sorumluları Bush ve Conant olan ve H. A. Compton; Urey; Lawrence; Bureu of Standards'tan ayrılan L. Brigss ile Standard Oil Development Company'den E. V. Murphree'den oluşan kontrol komitesi, günün koşullarına göre yeniden düzenlendi.

Başkan Roosevelt, projenin ilerlemesi ve geleceği hakkında düzenli olarak bilgilendiriliyordu. 1942'de ordu mühendislik ve donanım desteği evrelerinde etkin bir görev yüklendi ve Eylül 1942'de Manhattan Bölgesi bu amaçla ayrıldı. Ordunun etkinliklerinden sorumlu olup Savaş Sekreterliği'ni yürüten General L. R. Groves, projenin yöneticiliğine getirildi. General Groves, Washington'daki Pentagon (Ç.N. 83) binasının yapımı sırasında sivrilmiş meslek yaşamı parlak bir askerdi. Aydın, dürüst ve cesur olduğu kadar yetenekli bir yöneticiydi. Groves, geçmiştekinden tümüyle farklı bir çevrede bulmuştu kendini, ama yerinde kararlarla insanları ve olguları yönlendirmeyi çabucak başardı (Resim 10.6).

Çekirdek enerjisi serüveni hakkında yüzeysel de olsa bir fikir verebilmek zordur. En-

---

(Ç.N. 83) Beşgen biçimli mimarisi nedeniyle Pentagon adıyla anılan ABD Savunma Bakanlığı Binası.

düstri ölçeğinde daha önce hiç karşılaşılmamış tümüyle yeni teknikler yaratmak gerekiyordu. Çalışmalar - Kolombiya, Berkeley ve Şikago gibi üniversitelerin işliklerinde başladı. Sonra, araştırma ile üretim arası orta ölçekli özel işlikler kuruldu: İllinois'de Argonne, Tenessee'de Oak Ridge; Washington'da Richland ve diğerleri... Çalışma ilerleyince, geliştirme ve işletme, kâr amacı gütmeyen anlaşmalarla büyük endüstriyel şirketlere emanet edildi. Maceranın bu bölümü, tümüyle yeni tekniklerle boğuşan ve birbirinden uzak yerlerdeki çeşitli işlik ve kurumların eşgüdümünü gerektiriyordu. Gizliliğe olabildiğince uyulması gerekiyor, bu da en kolay işlemleri bile alabildiğine zorlaştırıyordu.

Normal koşullar altında bütün bunların gerçekleştirilmesi yıllar alabilirdi, ama savaş gereklerinin zorlamasıyla birçok aşama atlandı; örneğin, kurulmuş olması gereken pilot tesislerin çoğu ihmal edildi. Parçalanmanın keşfinden, ilk kritik reaktör olan Stagg Field'in 2 Kasım 1942'de Şikago'da çalışmaya başlamasına dek aradan dört yıl geçmişti; benzer biçimde, plütonyumun keşfinden ilk atom bombasına dek geçen süre de dört yıldı. Her işliğin belirli ve sınırları iyi çizilmiş görevleri vardı; amacına ulaştığında işlikler sökülüyor, personeli de yenilerinde görevlendiriliyordu.

Bir bütün olarak proje gözle görünür ölçüde başarılıydı. Bence, bu başarının altında yatan nedenleri ileride tartışacağım. Üstelik, harcamalar da göreceli olarak çok düşük sayılabilir; 1940'ların fiyatıyla sadece 3 milyon dolar (Ç.N. 84)

Artık Proje'nin daha teknik yönlerine ve bazı bilimsel önderlerin kişiliklerine yeniden dönebilirim.

Fermi, öncelikle plütonyum üretimi için gereken zincirleme tepkime alanında görev almıştı. Sorun; yeterli doğal uranyum ile uygun nötron ılımlayıcıları (=moderators, yavaşlatıcı) bir araya getirerek kendi kendine yeter tepkime elde edebilmekti. *Kritik montaj* (=Critical Assembly) da denilen bu işlemde, fazlalık nötron kaynağı olacak, bunlar da U^{238} tarafından yutularak önce U^{239} sonra da, beta bozunmasıyla Np^{239} ve ardından Pu^{239} oluşturulacaktı. Bu son eşilin 24.000 yıllık yarı ömrü vardır ve kimyasal yollarla uranyumdan kolayca ayrıştırılabilir. Tepkirlerde kullanılmak üzere sıradan uranyum ve ılımlayıcı olarak da grafit seçilmiştir. Aslında, bunlarda zincirleme tepkime elde etmesi zordur, ne var ki bilimciler çok daha zor ve o zamanlar henüz çözümlenmemiş olan eşil ayrıştırma ve zenginleştirme yöntemleriyle uğraşmak istememişlerdi. Asıl sorun, istenmeyen nötron yutulmaları, geometrik sızma ve benzeri kaçakları en aza indirmekti. Özellikle de uranyum ve grafit saflıklarının en üst düzeyde olması gerekiyordu. İşte bu aşamada Fermi, sadece büyük bir bilimci değil ama aynı zamanda mükemmel bir mühendis olduğunu da kanıtladı, nötronların söz konusunu olduğu bu noktada, köylü atalarından gelen bir tutumluluk sergilemişti. Roma'da yavaş nötronlar üzerinde yapılan incelemeler olumlu sonuç vermiş, İtalya'daki kuramsal çalışmalar da özdeğin parçalanmasıyla nötron elde edilmesini kapsayacak

(Ç.N. 84) Yine aynı yıllarda yapılan Pentagon binası 83 milyon dolara malolmuştu.

Resim 10.6 Sir James Chadwick ve General L. R. Groves - farklı ve yine de arkadaşlar (1944). (Birleşik Krallık Atom Enerjisi Makamı.)

biçimde geliştirilip değiştirilerek ilk tepkirin inşası için gereken kuramsal desteği sağlamıştı. Kuşkusuz; Fermi bu çalışmada yalnız değildi; birçok öğrencisi ve genç meslekdaşı yiğitçe yardım etmişti, bunların arasında H. L. Anderson, W. Zinn, L. Marshall, A. Weinberg ve daha önemsiz olmayan birçok başkaları sayılabilir. E. Wigner, A. Weinberg ve daha birkaç kişi özellikle endüstri ile bağlantıları sağlamayı üstlenmişlerdi.

Pu^{239}'u keşfedişimizden hemen sonraki mikrogramlık miktarlardan bomba için gereken kilogramlık miktarlarda saf metal eldesine geçebilmek için kimyasal ilerlemelerin sağlanması önemli bir aşamaydı. Kot adı Metalurji İşliği olan Şikago Üniversitesi, ışımaya tutulan uranyumdan plütonyum sağlama sürecine önderlik etmişti; endüstri, du Pont Company aracılığıyla Oak Ridge, Tennessee ve daha sonra Washington eyaletindeki üretim tesislerini kurmuştu. Sürecin metalurji yanı, Los Alamos İşliği'nde G. T. Seaborg, J. W. Kennedy ve C. S. Smith gibi bilimcilerin önderliğinde yürütülüyordu. Du Pont Company'nin mühendisleri, Union Carbide ve benzeri diğer kurumlar, başarı için mutlak gerekliydiler.

Uranyum eşillerinin kütle tayfı kullanılarak ayrımı işlemi Berkeley'de Lawrence'in önderliğinde ve ağırlıkla R. L. Thorton, W. Brobeck'in yardımcılığında yürütülüyordu. Üretim, sonradan Oak Ridge'deki Eastman Company'e kaydı.

Gaz yayılım yoluyla eşil ayrımı J. R. Dunning ve H. Urey grubunun göreviydi. Oak Ridge'deki tesisler Kellex Corporation and Carbide and Carbon Chemicals Corporation ta-

rafından yürütülmekteydi.

Çekirdek patlayıcıları hazır olduğunda, bunların bomba haline getirilmesi ve üretimine geçilmesi gerekiyordu. Bombanın tasarlanıp üretilmesi, basit bir macera olmayıp upuzun bir öyküdür. Üstelik, malzemesi çabuk çürüyen türdendir. Malzeme tamamlandığında, montaj yöntemlerinin de hazır olması gerekir. Küçük ölçekli ilk kuramsal çalışmalar, Berkeley'de J. Robert Oppenheimer (1904-1967) önderliğinde yürütülmüştü. Bir kaç ay içinde bombanın yapımına ayrılacak özel bir işlik gerensinimi doğunca, o zaman Manhattan Projesi'nde görevli olan Groves, Oppenheimer'ı yönetici olarak seçmişti.

Oppenheimer, atom çağının en anlaşılmamış ve üzerinde en çok tartışılmış adlarından biridir. Alman asıllı varsıl bir Yahudi ailesinin oğlu olarak New York'da doğmuştu. Öğrenciliğinde çok başarılı olmuş, henüz ilk gençliğinden itibaren en iyi okullarda öğretmenlik, eğitmenlik gibi fırsatlar elde etmişti. Yaşına göre erken gelişmiş, bunu fark eden ailesi de, yeteneğini geliştirmesi için onu her yönde cesaretlendirmişti. İlgi alanı çok genişti, sadece bilim değil ama felsefe, dil ve sanat alanlarına biraz daha yüzeysel de olsa eğilim göstermişti. Kafası olağanüstü hızlı çalışırdı, belleği de çok güçlüydü. Yeteneklerinin kendisi de farkındaydı ve biraz kibirliliğe yatkın davranışları nedeniyle epeyce düşman kazanmıştı.

Harvard Üniversitesi'nde fizik eğitimi görmüştü, Amerika'da paketçik devinbilimi ilk kavrayanlardandı. Doktorasını Harvard'da aldıktan sonra, doktora sonrası için Göttingen'de Born ve Kopenhag'da Bohr'un yanında bir süre çalışmıştı. Birleşik Devletler'e dönüşünden sonra, kuramsal fiziğin iki üretken okulunu, zamanını ikisi arasında bölüştürerek Berkeley ve Pasadena'daki Kaliforniya Teknoloji Enstitüsü'nde oluşturmayı başarmıştı. Gençlik yıllarında Oppenheimer, politik açıdan çok etkindi ve bana romantik ve dogmatik gelen sol eğilimleri vardı.

Grove'ın Oppenheimer'ı seçmesi şaşırtıcı görünebilir, ama kesinlikle yerinde bir karardı. O zamana dek dalgın ve uhrevi (=unworldly) bir kuramsal fizikçi olan Oppenheimer, bu göreve seçilince kendini göstererek teknik ve yönetsel açılardan mükemmel bir işlik yöneticisi olabileceğini kanıtladı. General Groves'dan Niels Bohr'a dek, çok değişik kişilerle nasıl başedeceğini de kısa sürede öğrendi.

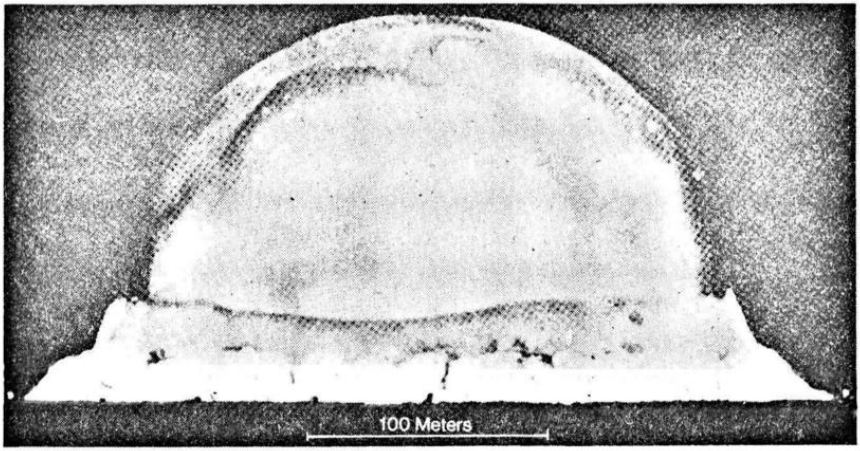
Yeni işlik, yerleşkelerden yalıtılmışlık gibi özel coğrafi nitelikler gerektiriyordu. Oppenheimer New Mexico platolarını çocukluğundan beri biliyordu. Sadece erkek çocukların alındığı özel bir okul olan Los Alamos School'un bulunduğu bu harikulade yerin seçiminde, bu nedenle yardımı dokunmuştu. Bölge hızla düzenlendi ve buraya olağanüstü yetenekli birçok fizikçi gönderildi. (Resim 10.7) Atom bombalarının ilk üçü burada yapılacaktı.

Savaştan sonra Oppenheimer birçok nedenle bilim ve siyaset çevrelerinde önem kazandı. Amansız düşmanları olduğu kadar, aşırı hayranlık ve bağlılık duyanlar da vardı. Kendini, politikanın uzlaşmaz sorunları içinde buldu. Düşmanları, ülkenin selameti için onun ortadan kaldırılması gerektiğine karar vermişlerdi. Bağlılığı konusunda Eisenhower İktidarı'nca açılan bir adli soruşturma, "güvenlik riski" taşıdığı açıklamasıyla sonuçlanınca, devlet görevlerinden yasaklandı. Bilim dünyası bu sonuçla çalkalandı ve ikiye bölündü. Yıllar

Resim 10.7 Los Alamos'da bir Pazar yürüyüşü. Ayaktakiler, soldan sağa, E. Segrè, E. Fermi, H. A. Bethe, H. Staub, V. Weisskopf; oturanlar, Erika Staub ve Elfriede Segrè. (Fotoğraf; E. Segrè)

sonra, Kennedy ve Johnson'un Başkanlıkları döneminde Amerikan Hükümeti, çekirdek üzerine yaptığı araştırmalar nedeniyle Fermi Ödülü vererek, bu vefakâr insanın uğradığı haksızlığı telafi etti. O sıralar Oppenheimer, politik etkinliklerden emekli olmuş, fiziğe dönerek Princeton'daki Institute for Advanced Study'nin yöneticiliğini yapmaktaydı. 1967'de orada öldü. Oppenheimer olayı tiyatro oyunları, özyaşam kitapları ve edebiyatın öteki alanlarında çeşitli yapıtları esinledi. Bu kitabın sonundaki kaynakça bölümünde, tümüyle uydurma olmayıp bana gerçekçi görünen bazı yapıtları belirttim.

Yeni teknolojilerin yaratılması sırasında, arada bir ve raslantısal da olsa girişimi alt üst eden hatta sonuçlar hakkında kuşkular yaratan bazı bunalımlar ortaya çıkabilir. Bunlardan birini, aralarında o zamanlar öğrenci olan O. Chamberlain ve C. Wiegand'ın da bulunduğu grubumla Pu^{239} 'un kendiliğinden bölünmesi konusunu araştırırken ben de yaşamıştım. Tepkirlerde açığa çıkan Pu^{240} eşilinin Pu^{239} ile birlikte kendiliğinden bölünme



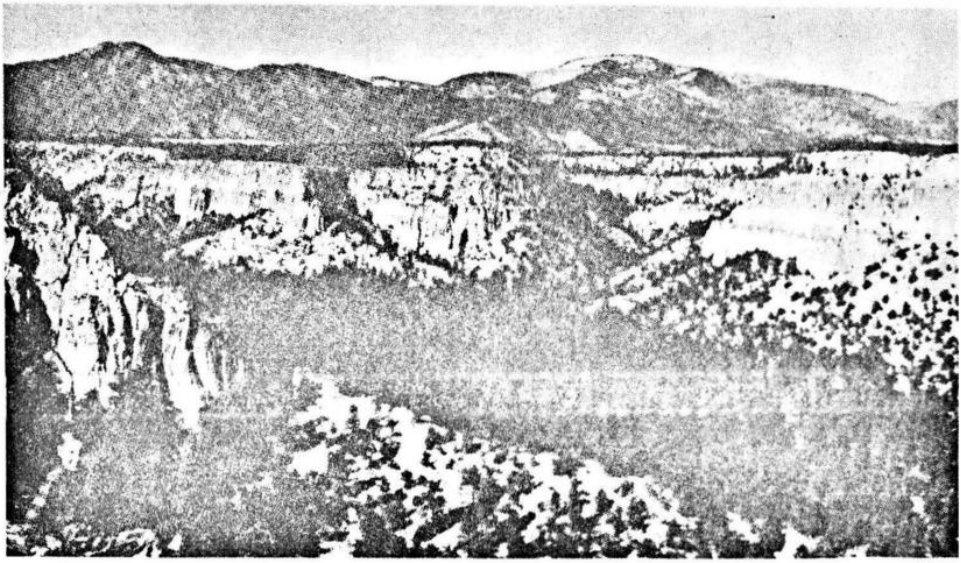
Resim 10.8 New Mexico, Alamogordo yakınlarındaki Jordana del Muerto'da 16 Temmuz 1945'de yapılan "Tirinity Denemesi" sırasındaki ilk atomik patlama. Patlamanın başlayışından sonra 1/40 saniye geçtikten sonrası. (Los Alamos Bilim İşliği.)

hızının çok yüksek olduğunu bulmuştuk. Bu hız o denli yüksekti ki, o zamanki araç ve yöntemlerle bomba yapımını bile olanaksız kılabilirdi: Bomba, istenilenden önce patlayıp fiyaskoyla sonuçlanabilirdi. Bu ciddi bir açmazdı; çaresiz, projenin yarısı savaş amaçları için kullanılamaz duruma düşebilirdi. Asıl işi C. D. Anderson'un birinci öğrencisi olan Neddermeyer'in kotarmasıyla, bu soruna bir çözüm bulunabildi.

Bir başka bunalım da ilk üretim tepkirinin çalışmaya başlatılması sırasında ortaya çıktı. Bazı bölünme ürünleri, nötronları öylesine beklenmedik bir hızda soğuruyordu ki, sonuçta zincirleme tepkime duruyordu. Bu yan ürünler tepkiri "zehirliyor", kendiliğinden bozunup ortadan kalkmalarıyla çalışma yeniden başlıyor, ama yine ortaya çıkınca yeniden duruyordu. Bu zorluk da mühendislerin tepkiri git gide daha büyüterek beklenmedik olaylara karşı etkinliğini artırmayı başarmalarıyla aşıldı. Fizikçiler, malzemeyi harcayıp maliyeti "gereksiz" yere arttıran mühendislerin böylesi tutucu tavırlarından hoşlanmazlar, ama mühendisler de kendilerini şiddetle savunurlardı. Bunlar, yaşanılan bunalımların sadece iki tanesiydi.

Los Alamos, 16 Temmuz 1945 şafağında ilk atom bombasının patlatılmasıyla (Resim 10.8) amacına ulaşmış oldu. Bombanın kullanılışında, son sözü, B. Devletler Anayasası'na göre tüm silahlı kuvvetlerin komutanı olan başkan söyleyecekti. Başkan Trumann, aralarında bilimciler de olmak üzere bir çok gruba danışıp, seçenekler ve sonuçları tüm yönleriyle kavradıktan sonra kararını verdi. Başka türlü davrandığını hayal etmek bile güç olmasına karşın, kararının doğru olup olmadığı, o günden beri tartışılmaktadır.

Sonraki askeri ve politik gelişmelerin tartışılacağı yer bu kitabın sayfaları değildir. Savaştan sonra Los Alamos, Birleşik Devletler'in savaş ve barışa hizmet eden başlıca doğal



Resim 10. 9 Los Alamos çevresinin 1943'lerdeki görünüşü. Los Alamos, şimdilerde Amerikan Ulusal Bilim İşliği yerleşkesi olarak kullanılmaktadır. (Fotoğraf; E. Segrè.)

işliklerinden biri olarak kaldı, ama Los Alamos kenti ve işliğinin kendisi ortadan kalktı (Resim 10.9). Yerine, birçok kent kurulurken hep görüldüğü üzere, hükümet planlayıcıları ve mimarlarının o eşsiz güzelliği vahşice yıktığı azçok basbakalıp bir kent inşa edildi. Los Alamos, o geri gelmez ilk gençlik ve romantik dönemlerin kenti olarak, birçok ilk hemşehrisinin anılarında yaşamaktadır.

Bombanın Sonuçları

Atom enerjisi ve atom silahlarının bu denli başarıyla ve hızla gelişmesi, birçok insanda, böylesi büyük maceraların maddi destek sağlandığında istekle yinelenebileceği düşüncesi yaratmıştır. Bu kanı, epeyce iyimserdir. Yeni çekirdek teknolojisinin o hızla geliştirilebilmesinin altında yatan nedenlerin sadece iki tanesinden söz edeceğim.

İlkin, zaman teknolojik açıdan yeterince olgunlaşmıştı; önceki yılların buluşları, uygun teknik koşullar yaratmıştı. İkincisi, Hitler'in canavarca eğilimleri o denli açık seçikti ki, herkes, bunun altını çiziyorum, herkes kendi işini bırakıp Hitler yıkımına karşı mücadeleye girişmek arzusundaydı. Böylece, işliklerin kurulması gerektirdikçe, yeteneklerinin doruğundaki genç insanlar koşa koşa geliyordu; böylesine üstün nitelikli bir topluluk daha önce ya da sonra hiçbir zaman bir araya gelmemiştir. Bu gerçeği, General Groves da çok iyi kavramıştı, Los Alamos'a yaptığı ziyaretlerin birinde, yaşam koşullarının elverişsizliği hakkında bir şikayetle yüzyüze kaldığında gülümseyerek şöyle demişti: "Hükümet şimdiye

dek görülmemiş pahalılıkta bir çatlaklar kolleksiyonu kurmuş burada, beni de emirlerine vermiş. Görevim, mutluluklarının sürmesini sağlamak." Los Alamos'da Bohr, Chadwick, Fermi, von Neumann ve Oppenheimer yaşlı nöbetçilerdi; genç bilimciler arasında da gelecekte Nobel Ödülü kazanacak en az altı kişi vardı.

Almanların, savaşın sonuna dek atom bombası yapımında ne kadar ilerledikleri ve Amerika'dan gelecek herhangi bir tehlike bekleyip beklemedikleri sorusu hep sorulur. Almanların çekirdek araştırmaları hakkında güvenilir bilgileri, Bağdaşıklar'ın (=Allied, Müttefikler) Almanya'yı işgalinden sonra ancak elde edilebilmiştir. Çekirdek konusunda araştırmalar yapan bilginlerin biraraya gelmesiyle oluşan Alsos kurulu, Alman projesinin, bölünme bulunduktan hemen sonra başlamış olmasına karşın çok az ilerleyebilmiş olduğunu saptadı. Almanlar ne zincirleme tepkiyi bulabilmiş, ne plütonyum hazırlayabilmiş, ne de önemli miktarda uranyum eşiltlerini ayrıştırabilmişlerdi henüz. Yavaşlıklarının nedeni örgütlenme, teknik, askerlik ve endüstrileriyle bağlantılıydı. Girişimin önderlerinin kişiliklerinin de etkisi vardı. Niyetten çok yetenek, ya da çalışma istekleri eksikti.

Sovyetler hakkındaki bilgiler ise oldukça kıttır. Sovyet araştırmalarında seçkin görevler almış olan I. V. Kurchatov'un kitabına göre, tartışmalar ve planlar çok önce başlamışsa da ciddi çalışmalara ancak 1942'de girişilmişti. Araştırmaların başında, kendiliğinden bölünmeyi keşfeden G. N. Flerov; Röntgen'in ilk çalışma arkadaşı ve Rus fiziğinin önemli adlarından biri olan A. Ioffe; Rutherford'un önemseyip koruduğu ve bir tatil sırasında anavatına geldiğinde Rus hükümetince bir daha Cambridge'e geri dönmesine izin verilmeyen P. Kapitza gibi seçkin bilimciler vardı. Çalışma koşulları ise, Nazi işgali yüzünden alabildiğine bozuktu. Öyle görünüyor ki Sovyet hükümeti, çekirdek gücüne gerekli yüksek önceliği, ancak savaşın sonunda ve Amerikalılar bombayı patlattıktan sonra vermişti. İlk Sovyet tepkiri Aralık 1947'de çalışmış ve SSCB ilk atom bombasını Ağustos 1949'da patlatmıştır. Ağustos 1953'de ise, bölünme-birleşme (=fission-fusion) karışımı bir bombayı patlattı. Birleşik Devletler, buna benzer bir aracı, daha erken bir tarihte 1951'de patlatmıştı. Kuşku yok, Sovyetler, artık öğrenmiş oldukları B. D.'in önceki deneyimlerinden yararlanmıştı.

İngiliz projesi, daha önce de sözü edildiği üzere, Birleşik Devletleri cesaretlendirmek açısından büyük önem taşıyor ve B. D.'deki çabaların yoğunlaşıp insanları bu konuda ikna etmek için itici bir rol oynuyordu. Bu çalışmalar kısa sürede Amerika'daki araştırmalarla birleştirildi. Kanada da geri durmamış, Birleşik Devletler'deki araştırmalara katılmıştı. Japonya'da bile, küçük ölçekli de olsa bazı girişimler görülmüştü..

Bilimin, kiminden yarar sağlayıp kiminden sağlamadığı çeşitli savaş uygulamalarının sonuçları içinde, olağanüstü zararı dokunmuş bir tanesine dikkat çekmek istiyorum, gizliliğin ortaya çıkışı. Bilimsel ortamı zehirlemiş ve henüz tümüyle dağılıp ortadan kalkmamıştır. Askeri gizlilik kuşkusuz gereklidir, endüstriyel gizlilik de sınırları tanımlıdır ve haklı görülebilir, ama bilimdeki gizlilik kendi içinde çelişkili bir önermedir. Tanımı gereği gerçeği açığa çıkarıp bulduklarını herkese yaymalıdır. Bilim tarihi boyunca örneğin, Newton gibi - büyük bilimciler çeşitli nedenlerle buluşlarını gizli tutmaya çabalamış ama

zaman ilerledikçe de bunun ne denli yanlış bir deneyim olduğu açıkça ortaya çıkmıştır (Ç.N. 85). Günümüzde bilimciler herşeyi olabildiğince çabuk basıp yayımlamaya çalışıyor - hatta, bazen de aşırı hızlı.

Savaş sırasında güvenlik gerekçeleriyle, askeri öneme sahip buluşların açıklanmasına gizlilik koşulu getirilmişti. Bölünmenin bulunuşundan sonra bilimcilerin kendiliğinden koyduğu bir gizlilik girişiminden söz etmiştik. Bu girişimin genişlemesi, ağırlıkla Joliotların karşı koyması nedeniyle önlenmişti, ama herhangi bir yarar sağlayıp sağlamadığı kuşkulu kalmıştır. Öte yandan, Amerikalı bilim adamlarının bir bölümü arasındaki daha sınırlı bir eylem, yine de başarılı olmuştu.

Manhattan Bölgesi oluşturulduğunda, gizlilik General Groves'ın sorumluluğuna bırakıldı. Groves bu çetrefil sorunu sağduyu ve esneklikle ele aldı. Ama sonraları gizlilik kuralları şifrelenip, bunu zaman zaman sevimsiz bir gereklilikten çok kendi başına bir amaç gibi gören bürokrasiye teslim edildi. Bu da birbirinden yersiz ve saçma sonuçlara yol açtı. Savaştan bu yana gizlilik, teknik ilerlemelerin arzu edilen düzeye ulaşmasını geciktirdiği gibi hiçbir askeri yarar sağlamaksızın, halkın önemli kararlar hakkındaki tartışmalara içtenlikle katılmasını da engelledi. Hele, "atom bombasının gizi" ve benzeri martavallara inananlarca doruğa ulaştırıldı. Tüm bilimcilerin üzerinde birleştiği birkaç şeyden biri gizlilikten kuşkulanmak ve bunu mümkün olduğunca çabuk ortadan kaldırmaktır.

Atom enerjisi ve Manhattan Projesi konularına biraz fazla yer verdiysem bunun nedeni hem bu konuların bilimin yakınında bulunması hem de benim bu konuların hiç değilse bir bölümünde doğrudan deneyim sahibi olmamdır. Şu da unutulmamalıdır, bu serüvenler hiç de benzersiz değildir. Örneğin, radar tarihi de atom enerjisi kadar farklı özellikler gösterir. E. Appleton, M. Tuve, G. Breit ve Heaviside (Ç.N. 86) katmanı ile bağıntılı jeofiziksel sorunları incelemiş olan diğer bilimciler yolu açmıştı. Aslında bu konudaki araştırmalar yüzyılın başına, Marconi'nin uzak merkezler arasında telsiz yayını gerçekleştirmeye çalışırken yeryüzü eğriliğinin üstesinden gelmeye uğraştığı günlere dek geri uzanır. Askeri uygulamalar altyapı hazırdı ve teknik, İngiltere Savaşı'nı somut olarak etkileyecek düzeyde olgunlaşmıştı. Büyük Britanya'da ilkin, radar için ayrılmış özel askeri bilimsel işlikler kuruldu, sonra da Birleşik Devletler'de. Burada da, özellikle savaş sonrası dönemde astrofizikten moleküler tayfölçümlerine dek çok geniş bir alanda yetenekli insanların yoğunlaşması ve muazzam uygulamalara tanık olundu.

Fermi'nin Son Çalışması

(Ç.N. 85) Newton, kütle merkezi gibi kavramsal olanlardan türevsel ve tümleşik matematik gibi genel olanlara dek birçok buluşunu _bazen yirmi yıl kadar_ gecikmeli olarak yayınlayınca, aynı konularda yayın yapmış başka bilimcilerle _örneğin Leibniz ile_ arasında özgünlük konusunda bitip tükenmeyen tartışmalarla yüz yüze kalmıştır.

(Ç.N. 86) O. Heaviside (1850-1925) Üst tmosferde, radyo dalgalarını yansıtan iletken iyonosfer katmanının varlığını öngören İngiliz fizikçi.

Fermi'nin yaşamına geri dönüyoruz. Savaşın sonuna doğru Fermi çekirdek fiziğinin bir doygunluk düzeyine erişmekte olduğunu hissettiğinden konudan soğudu. Çekirdek tepkirlerinden sağlanan nötron demetleriyle, fizikte özellikle katı hal fiziğinde, çeşitli yeni altalanlar açabilecek önemde deneyler yapabilirdi, ama ilgi merkezinin kaydığını fark etti. Eğretilemeli bir gülümsemeyle Duçe'nin (Mussolini) şu sözünü sıkça tekrarlardı, "Ya kendini yenile, ya da yok ol!" Fermi, kuşkusuz kendini yenileyecekti.

Şikago Üniversitesi üç yeni enstitü kurmayı tasarlıyordu - biri çok düşük sıcaklıkları, ikincisi metalleri, üçüncüsü de çekirdek tepkimelerini araştıracaktı. Üniversite, aralarında Urey ve Fermi'nin de olduğu Manhattan Bölgesi'nin önderlerinden birkaçını çekmeyi başardı. Fermi, çekirdek enstitüsünü yönetmeyi istememiş, bunu yakın arkadaşı S. K. Allison'un yetenekli ellerine bırakarak yönetsel güçlüklerden uzak durmayı yeğlemişti. Tüm zamanını öğretim ve araştırmaya ayırmak istiyordu. Böylelikle, aralarında Lee ve Yang'ın da bulunduğu savaş sonrası dönemin en büyük fizikçilerini yetiştiren, o verimli Şikago okulunu kurma fırsatını bulmuş oldu. Fermi'nin, epeyce geniş konular hakkındaki tartışmaların yer aldığı seminerleri ünlüydü. Geleceğin önemli araştırmalarına götüren düşünceler orada üretildi. Öğrencileri ya da iş arkadaşları Fermi'nin odasına, kendi düşünceleri hakkında konuşmak üzere gittiklerinde çoğunlukla yeni ve önemli önerilerle ya da ziyaretçinin henüz belli belirsiz algıladıklarını çabucak geliştirip dönüştürebilen Fermi'yle birlikte yazdıkları bir makaleyle geri dönerlerdi.

Fermi, ilgi duyduğu başlıca iki alanda deneysel araştırmalarını sürdürmek istiyordu - yüksek enerji fiziği ve bilgisayar uygulamaları. Los Alamos'dan sonra J. von Neumann ile sık sık yaptığı görüşmeler sonrasında elektronik hesaplayıcıların önemini kavramış ve bulabildiği her fırsatta, dünyadaki ilk bilgisayarlardan birini kullanmak üzere Los Alamos'a dönmüştü. Bu bilgisayar, sonraki modellerine kıyasla ilkeldi kuşkusuz ama onun sayesinde Fermi, istatistiksel devinbilim gibi yeni oluşumlarda deneyim kazandı. Bu bağlamda, şimdi Monte Carlo adıyla bilinen yöntemi henüz Roma'da nötronların yavaşlatılması üzerine çalıştığı sıralarda, o zaman yöntemin adı yoktu kuşkusuz, bulduğunu ben biliyorum. Konu hakkında hiçbir yayın yapmadı, ama söz konusu yöntemi, elinin altında bulabildiği hesaplama araçlarını, sadece toplama çıkarma yapabilen bir makine, kullanarak birçok problem çözmüştü.

Yüksek enerji fiziği deneyleri uygun bir ivmelendiriciye sıkı sıkıya bağlıdır. Bir tane Şikago'da inşa ediliyordu, ama ondan sonrakilerin esin kaynağı olan Berkeley'deki kadar hızlı değil. Fermi Şikago siklotronunun yapımında, bir şeyi istediği zaman hep yaptığı gibi, bizzat çalıştı. Mekanik işlerden, en uzun ve en yorucu hesaplamalara dek, kendi işini kendin yap (=do-it-yourself) ilkesini hemen her yerde izlerdi. İvmelendiricinin yapımında çalışıp bitmesini beklerken, o zaman bilinen parçacık kuramının tamamı üzerine de bir çalışma yürütüyordu. Hazırlık amacıyla, yapabildiği tüm hesaplamaları, sayılara dek yapıp bitirdi. Bu çalışmanın izleri, 1951'de Yale Üniversitesi'nde verdiği Silliman Dersleri'nde görülebilir. Şikago ivmelendiricisinin güvenilir olarak çalışmaya başlamasının hemen ardından, Fermi

öğrencileri ve iş arkadaşlarıyla birlikte piyon-nükleon (Ç.N. 87) çarpışması üzerine araştırmaya girişti. Bu alanda da, önemli bir keşif yapmayı başardı: proton-piyon çarpışmasının ilk seselimi (=resonance). Bu deneylerin irdelemesi sırasında Fermi ve arkadaşları Los Alamos bilgisayarından epeyce yararlandılar.

Savaştan sonra Fermi, ders vermek için İtalya'ya sıkça gitti. 1954'deki son ziyareti sırasında piyon fiziği üzerine dersler verdi, ama bu sırada henüz teşhis konamamış bir hastalık yüzünden acı çekmekteydi. Eylül'de Şikago'ya döndüğünde teşhis amacıyla geçirdiği bir ameliyat, onulmaz bir mide kanserini açığa çıkardı. Ömrünün son anlarını insanüstü bir güçlülük ve Sokratvari bir huzur içinde geçirdi. 29 Kasım 1954 tarihinde henüz elli üç yaşındayken öldü. Hem deney hem de kuramsal alanlarda ağırlık sahibi olmuş fizikçilerin sonuncusuydu. Onun gibi evrensel bir dehayı yeniden görüp göremeyeceğimiz kuşkuludur.

(Ç.N. 87) Proton, nötron gibi atom çekirdeğini oluşturan parçacıklardan herhangi biri.

11

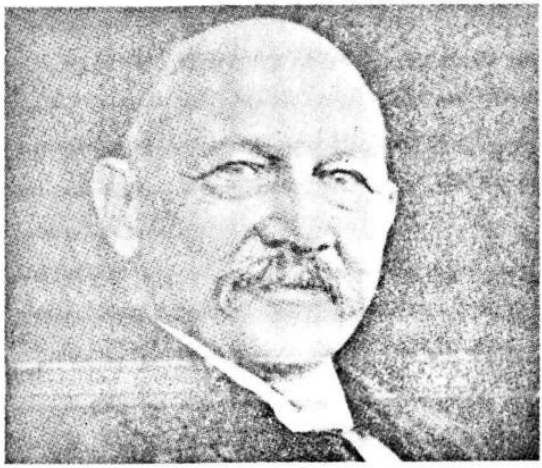
E. O. Lawrence ve Parçacık İvmelendiricileri

Büyük Ölçekli Fizik

Bir önceki bölümde fizik deneylerindeki ölçeğin, yaklaşık olarak bir milyon kez nasıl büyüdüğüne değinmiştim. Böylesine bir büyüme, doğal olarak araştırmaların içeriğinde de aynı ölçüde derin değişikliklere yol açar. Uzunluk ölçütü bir milyon kez küçültüldüğünde, gerçekten etkileyici sonuçlarla karşılaşılır: klasik fizikten, paketçik fiziğine geçilir. Deneysel kaynakların gücündeki milyon kat artış da muazzam farklılıklara yol açar. Fiziksel işlemlerdeki bu sıçrama kendi başına ilginç bir konu olduğu için, bir kaç sözcükle de olsa değinmeden geçemedim.

Fiziğin büyük ölçeklere geçişi, genellikle parçacık ivmelendiricileri ile bağlantılıdır. Tümüyle doğru olmasa da bazı gelişmelerin zamanından önce ortaya çıktığı ileri sürülebilir: bilimin mühendislikle bütünleşmesi, araştırmaların tümsel karakteri, işliklerin uluslararası niteliği, işliklerin sadece bir tek yöntemde özelleşmesi, çalışanların sürekli üyeler ve ziyaretçiler diye bölünmesi... Bu niteliklere sahip bir işlik, on dokuzuncu yüzyıl sonunda düşük sıcaklık olgusunu araştırmak üzere Heike Kamerlingh Onnes (1853-1926) tarafından kurulmuştu.

H. Kamerling Onnes (Resim 11.1) Hollanda'da Groningen'de doğmuştu; ilkin burada öğrenim görüp Almanya'ya Heidelberg'e gitti. Zamanın iki büyük kuramcısından çok etkilendi - H. A. Lorentz ve J. D. van der Waals. Kamerling Onnes, tezini Foucault sarkacı üzerine yazdıktan sonra 1882'de Leyden Üniversitesi'nde profesör oldu, ömrünün sonuna kadar da burada yaşadı. Leyden'de tüm çabasını düşük sıcaklıklar üzerine bir işlik kurmaya harcadı. Bu işlik uzun süre dünyanın en iyisi olarak kaldı.

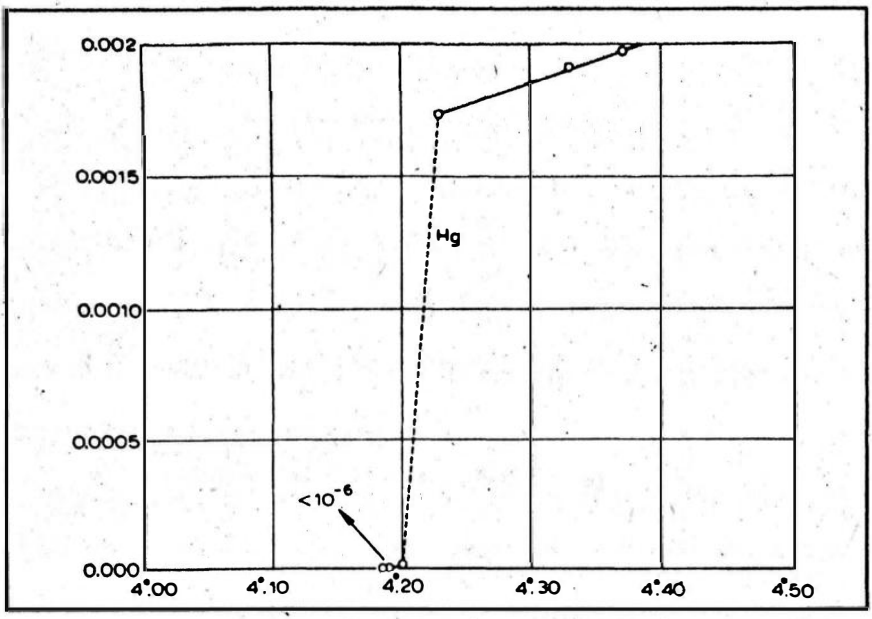


Resim 11.1 H. Kamerling Onnes (1853-1926), Leyden Düşük Sıcaklıklar İşliği'nin kurucusudur. Dünyanın en iyisi olma özelliğini yıllar boyunca koruyan bu işlikte, geleceğin bü-yük işliklerinin bilimsel örgütselliğinin ayırt edici birçok özelliğinin temeli atılmıştı. (Nobel Kurumu.)

Kamerling Onnes, düşük sıcaklıların eldesi yöntemleri ve düşük sıcaklıklar konusundaki çalışmalarıyla fizik ve mühendislik dallarının her ikisinde de şaheserler yarattı. İşlik öylesine etkinleşmişti ki, bir noktadan sonra burada elde edilen sonuçları duyurmak için, sonradan düşük sıcaklıklar alanının bir incili haline gelen kendi dergisini çıkarmaya başlamıştı. Kamerling Onnes, 1904'te Leyden Üniversitesi Rektörü oldu. Gerek bu törende gerekse Nobel Ödülü töreninde yaptığı konuşmalarda, Leyden düşük sıcaklık işliğinin amaç ve sorunlarından söz etti. İşliğin getirdiği sorunlar ve bunların çözümü hakkındaki görüşleri geçerliliğini bugün de korumaktadır ve büyük çağdaş işliklerde halen uygulanmaktadır. Özel uluslararası işlikler şimdi salt düşük sıcaklıklar konusuna değil ama parçacık ivmelendiricilerine, güçlü manyetik alanların yaratılmasına, yüksek akılı (=flux) çekirdek tepkirlerine, astronomik gözlemlere ve benzeri başka konulara da ayrılmaktadır.

Leyden İşliğindeki incelemeler, düşük sıcaklıklar fiziğini kurmak için gereken çok sayıda ölçümü kapsar. Bunların ilintili olduğu konular arasında mutlak sıfır yakınlarındaki sıcaklık eşelleri, özgün ısılar, buhar basınçları, manyetik duyarlılık (=susceptibiliy) ve konuya özel aygıtların geliştirilmesi sayılabilir. İşliğin baştacı sayılabilecek başarısı, 1908'de gerçekleştirilen helyumun sıvılaştırılmasıdır. Özdeğin, böylesine düşük sıcaklıklar altındaki özelliklerinin çalışılması birçok önemli olguyu açığa çıkardı, bunların içinde en önemlisi de üstün iletkenlik (1911) - yani, civa ve birkaç özdek türünde daha elektrik iletkenliğinin yeterince düşük sıcaklıklarda birden bire ortadan kalkmasıydı (Resim 11.2)

Kamerling Onnes'in çalışması büyük ölçekli fiziğin ilk örneğiydi ama, Leyden'deki işlikten yıllarca sonra gelen ivmelendirici yapımcıları tarafından bilinmediği gibi örnek olarak da alınmamıştı.

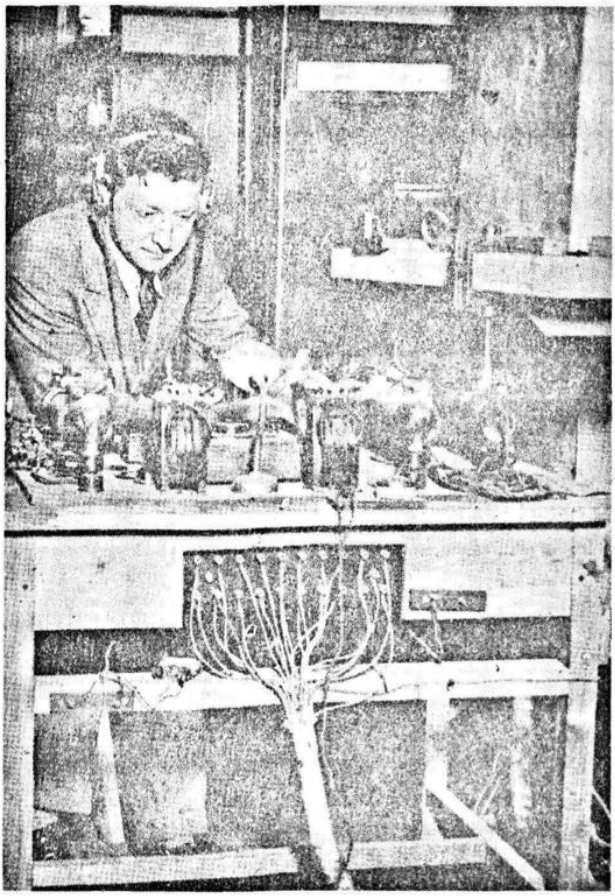


Resim 11.2 Sıcaklığın işlevi olarak, civanın elektrik direnci. 4,2°K'de direnç birden bire kaybolarak üstün iletkenlik ortaya çıkar. Şekil, Kamerling Onnes'in 1913 Nobel dersinden alıntılanmıştır. (Nobel Kuruluşu.)

İlk İvmelendiriciler

İvmelendirici yapma güdüsü, doğal kaynaklardan sağlanabilenden daha bol ve daha yüksek enerjili parçacıklara duyulan gereksinmeden doğmuştur. Üstelik, doğal ışımaetkin kaynaklardan çıkan parçacıklar elektron, gama ışınları ve alfa parçacıklarıyla sınırlıdır; oysa, ortaya çıkan hemen her işaret 1932'den sonra nötronların ve protonların önem kazanacağını gösteriyordu.

Rutherford'un 1917'deki öncü deneyinden sonra, çekirdek bozunumları alanında yaşamsal öneme sahip ilerleme sağlayabilmenin en iyi yolunun bir işlik aracıyla parçacıkların ivmelendirilmesi olduğu açığa çıkmıştı. İlk girişimler Birleşik Devletler'de G. Breit, M. Tuve ve arkadaşlarınca 1925'de gerçekleştirildi. Bir Tesla makarası (yüksek gerilim dönüştürücüsü = high-voltage transformer) yapıp, elde ettikleri gerilimi, parçacık ivmelendirmeye elverişli bir tüpün uçlarına uyguladılar.Az sonra, Berlin'de A. Brasch ve F. Lange, proton ivmelendirmek için bir vuru (=impulse) üreteçi kullandılar. Yüksek gerilimi, fırtına bulutlarından bile sağlamaya çalışmışlar ve olasılıkla çekirdek bozunumunu gerçekleştirmeyi de başarmışlardı; ama, yöntemleri uygun değil hatta tehlikeliydi: bir fizikçi, şimşek çarpması sonucunda yaşamını yitirmişti. Kalifomiya Teknoloji Enstitüsü'nden C.

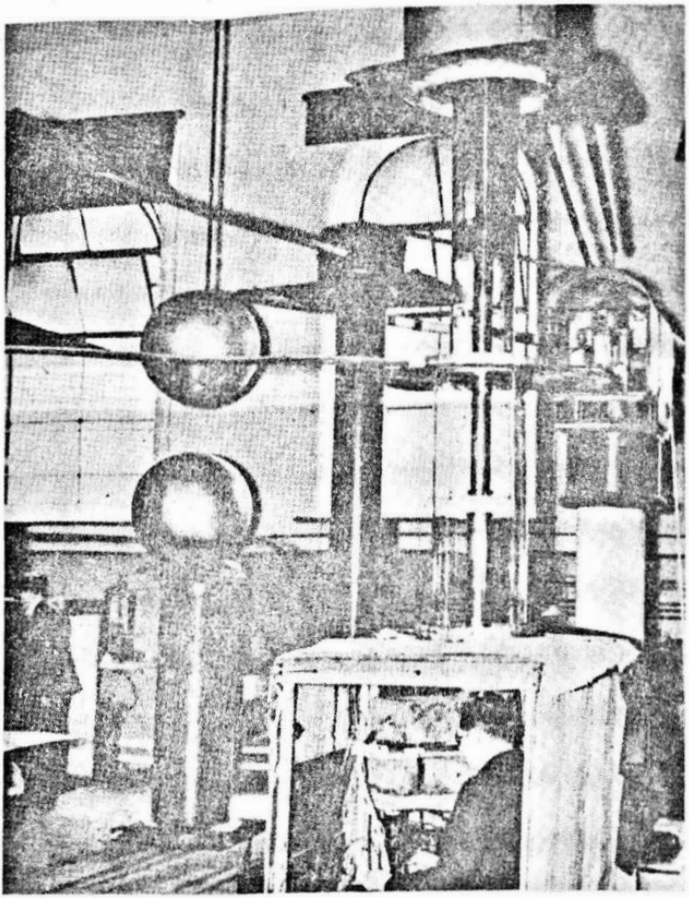


Resim 11.3 John D. Cockcroft (1897-1967), 1932 yılında Cavendish İşliği'ndeki deney masasının başında (Cavendish İşliği.)

C. Lauritsen ve H. R. Crane, çağlayan biçiminde bağladıkları bir dizi dönüştürücü kullandılar ve bu yüksek gerilimle x-ışını ve proton ivmelendirme tüplerine enerji beslediler. R. J. Van de Graaf Princeton'da, halen yaygınlıkla kullanılan aygıtların atası olan, yeni bir durgun elektrik (=electrostatic) üreteci yaptı.

Ne var ki, yapay yoldan ivmelendirilmiş parçacıklarla ilk bozunumları John D. Cockcroft (1897-1967) ve T. S. Walton (d. 1903) Cavendish İşliği'nde gerçekleştirdiler (Resimler 11.3, 11.4). İlkin İsviçreli H. Greinacher'in bulduğu bir gerilim katlama devresini (=voltage multiplying circuit), fizikteki uygulamalarının ne olacağını görmek isteyen Rutherford'un sürekli dürtüklemesiyle geliştirip, elde ettikleri gerilimi protonları ivmelendiren yükboşalım tüpüne beslediler. 1932'de 770 kV'da, lityumu iki alfa parçacığına bölmeyi başardılar.

Bu araştırmaların tümünde, herhangi bir araçtan sağlanan gerilim yükboşalım tüpüne uygulanmakta ve böylece 1 MeV düzeyinde enerjiye sahip parçacıklar için gereken 1MV'luk



Resim 11.4 Cockcroft ve Walton'un durgun elektrik ivmelendiricisi Cockcroft, yük boşalım tüpünün altında görünmektedir. Bu aygıtla Cockcroft ve Walton, lityum ve berilyum çekirdeğini bozundurdular. Bu, yapay yoldan ivmelendirilmiş parçacıklarla gerçekleştirilen ilk bozunmadır. (Cavendish İşliği.)

gerilim işlikte sağlanmaktaydı. Böylesi yüksek gerilimler çeşitli teknik güçlükleri ve tehlikeli kazaları da beraberinde getirmekteydi. Yüksek gerilimsiz daha ustalıklı yaklaşımlar fizikçiler ve mühendisler tarafından 1922 gibi erken bir tarihte öne sürülmüştü; kimileri parçacık ivmelendirme için elektromanyetik irgitme (=induction) kullanıyordu, kimileri de katlı ivmelendirme. E. O. Lawrence, katlı ivmelendirmeyi uygulamaya koyup başarılı sonuç almada en ileride gidiyordu. İrgitmeli ivmelendiricileri (betatronları) ise D. Kerst geliştirecekti.

Lawrence ve Siklotron

Norveç soyundan gelen Ernest O. Lawrence (1901-1958), gelenekscl görüşleriyle Amerikan öncü ruhunu hala aynı canlılıkla yansıtan Kuzey Dakota'daki Canton'da doğmuştu.

Bu görüşler arasında göreve aşırı bağlılık, zaman zaman kökten tutuculuk hatta tepkimeci özelliklerle bezenmiş özgürlükçülük, bireycilik, özgüven ve taşralılık sayılabilir. Ernest'in babasının okullara karşı çok yakın bir ilgisi vardı, bu nedenle oğul, kitaplara bu arada bilimsel nitelikli olanlarla da kolaylıkla erişebiliyordu. Kısa sürede radyo vericisi ve benzeri aygıtlar yapmaktan hoşlanmaya başladı.

Lawrence zeki ve başarılıydı, kamu okullarından sonra Yale Üniversitesi'nde öğrenimini tamamladı. Okul eğitimi görmüş olmasına karşın, ne fizikte ne de başka alanlarda arı kültür edinebilmiş değildi. Öte yandan, fizik için gerçekten sezgisel duyuşlara sahipti, başarı için güçlü bir arzusu ve insanlarla iyi geçinebilme yeteneği vardı.

Bilimciden çok mucit yanı ağır basıyordu. Edison'dan daha kültürlüydü, büyük mucitlerle de ortak yönleri pek çoktu. Bir keresinde J. J. Thomson, Edison'la x-ışınları üzerine konuşmaya kalkmış ama az sonra konuyu değiştirmenin daha iyi olacağını farketmişti; bu olayın bir benzeri Fermi ile Lawrence arasında da geçti. Birçok fizikçi, hatta kendi Işıma İşliği'ndekiler bile, çekirdek fiziğini ve ivmelendiricileri Lawrence'den çok daha iyi bilirdi. Yine de, buluşu dolayısıyla kendisinin kurup büyük bir başarıyla diktatörce yönettiği işliğinde eşsizdi, yaşamsal bir öneme sahipti. Olağanüstü önderliği, heyecanı ve kişiliği, biliminden çok daha önemliydi.

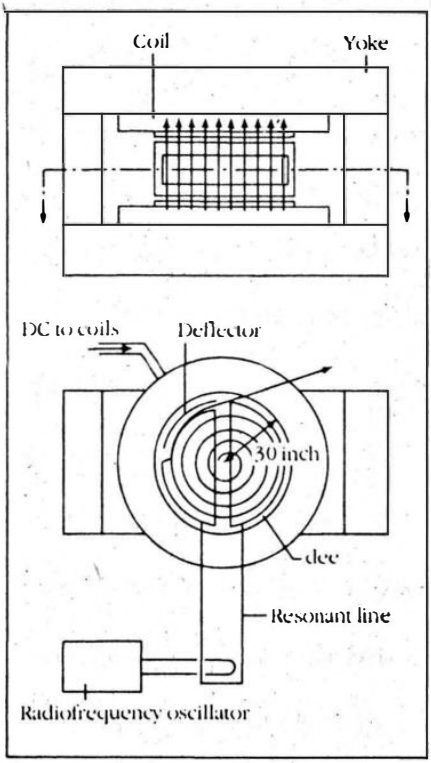
Yale Üniversitesi'ndeyken Lawrence, gelecek için büyük umutlar beslenen parlak bir öğrenciydi. Genç yaşında profesör olduğunda - o günlerde gelişme dönemi içindeki_ Kaliforniya Üniversitesi'nin de ilgisini çekti ve 1928 yılında bu üniversiteye geçti. 1929'da, dergileri karıştırırken, *Archiv fuer Elektrotechnik*' 'de yayınlanan R. Wideroe'nin makalesinde gördüğü bir çizimle sarsıldı, siklotron düşüncesini kavrayıvermişti (Resim 11.5).

Daha önce de değindiğimiz üzere, e / m özgün yüküne sahip bir parçacık eşbiçimli (=uniform) manyetik alanda ilk hızı kuvvet çizgilerine dik olarak hareket ettiğinde, $\omega = eB / mc$ açısal frekanslı, yarıçapı $r = mcv / eB$ olan çemberler çizer. Bir iyon kaynağını B manyetik alanı içine koyup, B 'ye dik bir elektrik alanı da ekleyecek olursak, izleklerin çapı boyunca ve $\nu = \omega / 2\pi$ frekansıyla artan katlı ivmelenme elde ederiz. Elektrik alanı her kestiğinde, iyonlar enerji kazanır ve bu enerji kesişme sayısıyla katlanarak artar. Gereken özelliklere sahip olan elektrik alanı dik kenarları birbirine dönük D harfi biçimindeki kutularla - bu kutulara bu yüzden *dees* (Ç.N. 88) denir - sağlanır. D'ler, ν frekansıyla değişen gerilim altında tutulur. Düzeneğin tümü de bir boşluk odası içine kapatılmıştır (Resim 11.6).

Bir iyon V gerilim farkına sahip D'lerin arasından her geçişte eV lik enerji kazanır. İyonların izleği, başlangıç noktası iyon kaynağı olan bir sarmal biçimindedir. İzleğin sonunda ise, parçacıklar, havası boşaltılmış kutu içinden ayrılıp bir kanala doğru yön-

(Ç.N. 88) (İngilizcede D harfi "dii", çoğulu ise "diis" biçiminde okunur.)

Resim 11.5 Ernest O. Lawrence (1901-1958). Elindeki, sonraki modellere kıyasla minnacık kalan ilk siklotrondur. (Lawrence Berkeley İşliği.)



Resim 11.6 Siklotron ilkesinin şematik çizimi. (Kaynak; E. Segrè, *Nuclei and Particles*, 2. baskı, 1977 Benjamin/Cummings, Inc.'ın izniyle.)

lendirilirler. Katlamalı ivmeleme nedeniyle, aygıt içindeki gerilim farkı, aynı enerjiyi çizgisel ivmellendiricilerde kazanmak için gerekenin yanında çok küçük kalır. Böylece, yüksek gerilimin getireceği güçlüklerden kaçınılmış, değerine paha biçilemez bir yarar sağlanmış olur.

Belki de, siklotron düşüncesi Lawrence'da oluştuğunda tümüyle yeni değildi, ama yeni olan, N. E. Edlefson ve M. S. Livingston başta olmak üzere bir dizi iş arkadaşının katkılarıyla, bu düşüncenin uygulanabilirliğinin kavranması ve bu amaç doğrultusundaki çabalardı. Ömrünün geriye kalan bölümünde Lawrence, sağladığı enerjisi giderek artan siklotron ve öteki türlerden ivmelendiriciler yaptı. Bu aşamalar, giderek artan uzaklıklara yayın yapmaya çalışan Marconi'yi anıştırmaktadır.

Lawrence'ın büyük paralara ve teknik yardıma gereksinmesi vardı. Destek sağlamak amacıyla, en azından gençlik yıllarında, zengin kişilere ve kurumlara yönelmişti. Amacı, salt insancıl arzularının göstergesi olması gereken siklotronun olası hekimlik uygulamalarını vurgulamaktı. Teknik yardımcılar toplarken, bulaşıcı heyacanı, girişimin başarıyla sonuçlanacağı açıklaması ve 1930'lardaki işsiz fizikçi sayısının çokluğu işine epeyce yaramıştı. Lawrence, yakındaki arkadaşlarına ya da uzak kurumlardaki tanımadığı bilimcilere makineyi kullanmaları konusunda ve siklotronla üretilmiş yapay ışımaetkin özdek.sağlamakta çok cömert davranıyordu. Dolaylı yoldan ama eşi bulunmaz teknik araçlarla yaşamsal katkıda bulunduğu bu araştırmalardan ona da onur payı çıkartılmasına ise razı olmuyordu. Kendi siklotronunu yapmak isteyenlere makinenin ozalit kopyalarını (=blueprints) vermeye de her zaman hazırdı.

Kısa süre içinde, önderlik yeteneğinin teknik yetenekten daha zor bulunduğunu kavrayıp o üstünlüğünü daha büyük çaplı örgütlenmelere kullanmaya karar verdi ve teknik konuları tümüyle iş arkadaşlarına devretti. İşliğinin genç ve yetenekli fizikçiler üzerinde yarattığı çekiciliğin etkisinden yararlanarak üstün nitelikli bilimciler toplayabiliyordu. Onları yakından gözlüyor ve soğukkanlı bir yargıyla değerlendirerek özel yeteneklerini işliğin genel yararları doğrultusunda kullanmalarına olanak sağlıyordu. Onlara yeterince özgürlük tanıyor, göreve sınırsız bağlılık istiyordu. Teknik konularda her zaman iyimserdi, ivmelendiricilerle ilintili her sorunun hayvansı bir güç harcandığında çözüleceğine ya da başka bir deyişle, ısrarın zorlukları çözüme dönüştüreceğine inanıyordu. Lawrence bir keresinde siklotronun kutup parçalarında belli bir değişiklik yapılmasını istemişti. Yorucu ayarlama yapılmış, ama olumlu sonuç alınamamıştı. Her zamanki yaklaşımıyla şöyle dedi; "Mükemmel! Eğer ışın demetini bozacak olursa, tersini yaparız; bu da onu düzeltir."

Bir ara, M. S. Livingston, E. McMillan, L. Alvarez, R. Thorton, D. Cooksey, W. Brobeck ve R. R. Wilson gibi ivmelendirici uzmanı olan birinci sınıf fizikçilerden bir grup oluşturmuştu. Gerçekten, ivmelendirici yapımcılarının birinci kuşağı Berkeley'de Işıma İşliği'nde (şimdiki adıyla Lawrence Berkeley İşliği) ortaya çıkmıştı. Don Cooksey'in bu kuşak içinde özel bir yeri vardır. Çok kibar bir insandı, fizik doktorasını da Yale'den almıştı. Lawrence'ın yeteneğini çok iyi takdir yaşamını ona yardım etmeye adamıştı. Ona hayran olmuş, onu sevmiş ve çok iyi anlamıştı, yardımını da hemen hiçbir alanda esirgememişti - teknik, para ve insani. Ona düşkünlüğü ve bağlılığı sınırsız, özverili ve son derece alçakgönüllüydü. Lawrence'in başarısında yaşamsal bir rol oynamıştı.

İlk siklotron beş on santimetre çapındaydı. İçinde iyonların sarmallar çizerek döndüğü varsayılan camdan yapılma boşluk odası avuç içine sığabilirdi. Bir sonraki biraz daha büyüktü ve 1930'da başarıyla çalışmaya başlamıştı. Siklotron kullanılarak ilk yapay bozunmaların elde edildiği 1932'de duyuruldu. 1936'da Berkeley'e ilk gelişimde, Federal Telgraph Company'den sağlanan dev gibi mıknatısı olan ve güçlü ışımaetkin eşil kaynakları oluşturmakta kullanılan, 1 metrelik bir siklotron vardı. (Resim 11.7)1,5 metrelik siklotron 1939'da yapıldı (Resim 11.8). Bu makinelerin her biri, önemli fizik ya da kimya araştırmalarında kullanılmıştır.

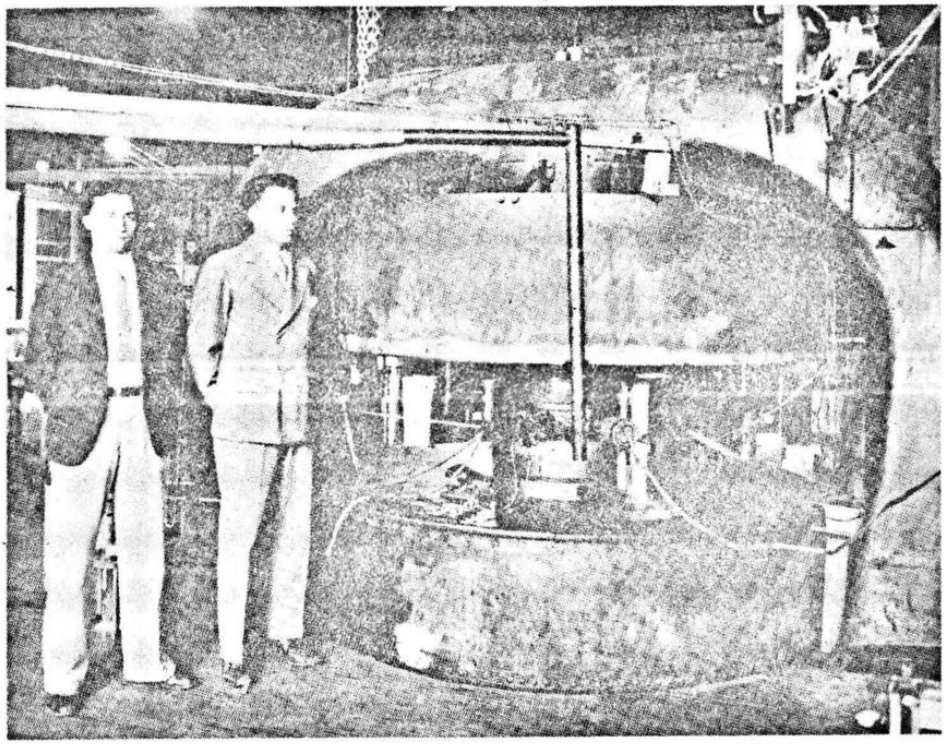
1930'ların başında Lawrence siklotronu ile çekirdek fiziğinde bir el oynamayı denedi, ama partiyi kaybetti. Konu hakkında onunla aynı görüşü paylaşmayan Cavendish İşliği'ndeki fizikçilerle uzun uzadıya yaptığı görüşmelerden sonra anladı ki, elde ettiği sonuçların bazıları yanlıştı. Bu macera, onun makine geliştirme alanına bir daha hiç çıkmamasıya geri dönüşüne katkıda bulunmuş olabilir, bilimsel ilerleme açısından mutluluk verici bir karardı, çünkü bu alanda gerçekten olağanüstü başarılıydı. Her ne ise, bilimsel uygulamalarını daha az önemseyerek ağırlıkla siklotronun verimliliği ile ilgilenmeye başladı. Curie ve Joliot'un yapay ışımaetkinliği bulmasından bir ya da iki yıl kadar önce Lawrence onların gözlediğinden binlerce kez daha büyük miktarlarda ışımaetkin özdeği siklotronunda üretebiliyordu. Gelgelelim, ışımaetkinlikle çevrelendiğinin farkında değildi. Sonraları aynı durum çekirdeklerin birleştirmesi konusunda yinelendi. Bilimsel buluşlarla ilgileniyorduysa da Lawrence, aygıtını çekirdek araştırmaları için kurban etmeye henüz hazır değildi. Makine zamanının çoğu bakımına, makinelerin geliştirilmesine ya da hekimlik araştırmalarına ayrılıyordu. Bu da, makinelerin çekirdek amaçlı işletilmesi için zihinsel ve teknik çaba harcanabilme olasılığını engelliyordu.

Lawrence'ın hiç tavsamayan makine geliştirmeye adanmışlığı, çevresindeki genç fizikçilerce gereği kadar takdir edilmiyordu. Buldukları her fırsatta, aygıtı el altından bilimsel amaçlarla kullanmaya bakıyorlardı.

Şimdi geçmişe bakınca, Lawrence'ın tek amaçlılığının, aygıt geliştirme için ne denli yerinde olduğunu düşünüyorum. Başka işliklerde de fizikçiler siklotron yapmış ve hemen ardından bilimsel araştırmalarda kullanmaya çalışmışlardı. Ama, sonuçlar pek doyurucu değildi, çünkü aygıtlar sık sık bozuluyor ve kesintisiz olarak kullanılamıyordu. Her iki alanda ustalaşmış personel bulmak da epey güçtü ve sadece varolanlardan çok daha büyük ve sürekli gelire sahip işlikler bu iki amacı sürdürebiliyordu.

Işıma İşliği, sıradan üniversite işliklerinden oldukça farklı biçimde örgütlenmişti ve bunun ayrımına varan üniversite Öğretim Üyeleri, henüz 1932 gibi erken bir tarihte bu işliği Fizik Bölümü'nden tümüyle ayrı kendi başına bir birim olarak yeniden düzenlemişlerdi. Işıma İşliği ve Fizik Bölümü arasındaki bazı kaçınılmaz kıskançlık ve sürtüşmelere karşın, barışçıl ve hatta içten beraberlikleri, her ikisi içinde önceden tahmin edilemeyen yararlar sağlamıştı.

Işıma İşliği'ne para bulmak, onun için güç bir görev olsa da, ağırlıkla Lawrence'in sorumluluğundaydı. O yıllar Amerika'sındaki genel ekonomi bozukluğu yüzünden para kıtlığı yaşanıyordu. Lawrence, bağış toplamak ve özendirme etkinlikleri nedeniyle zamanının çoğunu Berkeley dışında geçirmek zorunda kalıyordu. Halkla ilişkiler alanında olağanüstü başarılıydı ve belki de bu işi kendisi için biçilmiş kaftan olarak görüyordu.Destekleyicileri kişiliğinden, iyimserliğinden ve başarılarından çok etkileniyordu, bu sayede de Lawrence, sorumluluğu öyle gerektirdiği için, emeline ulaşıyordu. İşlik, zor ekonomik koşullar altında çalışıyor, parayı ancak bulduğu zamanlar harcayabiliyordu.

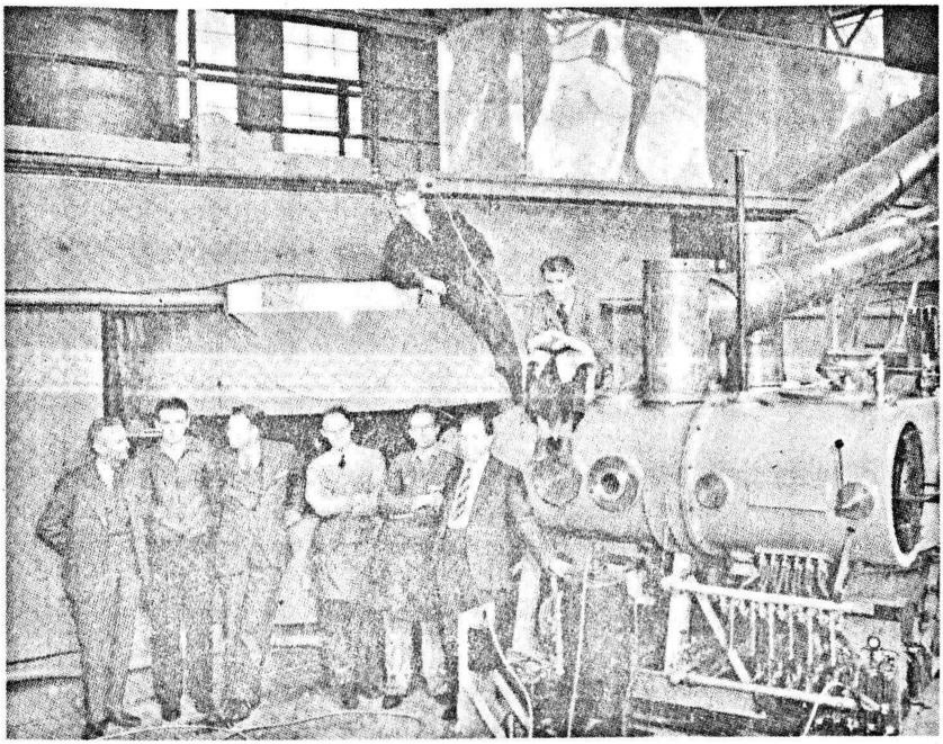


Resim 11.7 M. S. Livingston ve E. O. Lawrence, Kaliforniya Üniversitesi'nin LeConte Hall 'ında 1 metrelik siklotronun yanında duruyorlar. Aygıt ilk yapıldığında, 70 santimetre geliyordu; 1936'da 1 metreye büyütülmüştü. Nötronun manyetik momentinin ölçülmesinde ve ilk yapay öge olan teknetyumun üretilmesinde kullanılmıştı. (Lawrence Berkeley İşliği.)

Politikalar ve Kişilikler

1930'larda Berkeley'de kuramsal fizik profesörü olan J. R. Oppenheimer, bilim ve politikada birbirine neredeyse tümden aykırı olsalar da, Lawrence'ın candan dostu ve danışmanıydı. Böylesine aykırı kişilikler arasındaki içten ve yakın dostluklar şaşırtıcı gelebilir; bunun temelinde yatan nedenleri bulabilmek için her ikisinin de kişiliklerinin dikkatli bir irdelemesi gerekebilir. Belki de, kendilerinde eksik olup birbirini tamamlayan niteliklere hayranlık duyuyorlardı.

Sonraları, Avrupa'nın büyük bir hızla yıkıma sürüklendiği dönemlerde, Oppenheimer aşırı sol sloganlar peşindeyken Lawrence, içinde büyüdüğü Ortabatılı geleneklerin etkisiyle, yabancı ülkelerden bağımsız bir yol tutturmuştu. Üstelik, atom enerjisinin olası savaş amaçlı kullanılmasının önemini de kavramış değildi. Ne var ki, Avrupa'da savaş patlak verdiğinde, Lawrence, Büyük Britanya'nın ayakta kalmasının gerekliliğine inan-



Resim 11.8 Berkeley'deki Kaliforniya Üniversitesi'nin 1944 yılındaki 1,5 metrelik siklotronu. Ayaktakiler, soldan sağa: D. C. Cooksey, D. Corson, E. O. Lawrence, R. L. Thornton, J. Backus, W. Salisbury; siklotronun üzerindekiler ise, L. W. Alvarez ve E. McMillan'dır. Uranötesi ögelerin çoğu bu siklotronla üretilmiştir. (Lawrence Berkeley İşliği.)

dığından, herkesin bu amaç, doğrultusunda çalışması gerektiğini düşünüyordu. En yakın dostu ve işarkadaşı olan McMillan'la Alvarez'i, Massachusettes Cambridge'de yürütülen en ivedi projeye, radar işine yardımcı olmaya ikna etmişti. Atom enerjisi ve atom silahları, Lawrence'a bilimkurgu ürünleriymiş gibi geliyordu ve bu kanısında yalnız değildi. Aslında, Amerikalı fizikçilerin çoğu onun gibi düşünüyor, ya da en azından radar konusuna atomik programlardan daha az öncelik tanıyorlardı. Belki de bu görüşler, ivedilik açısından daha doğruydu. Belirli bir dönem için çekirdek enerjisinin sözcülüğünü, Hitler ve Mussolini'den kaçıp Birleşik Devletler'e gelen Avrupalı fizikçiler üstlenmişti. Sonraları ise, Lawrence, Compton ve öteki Amerikalı büyük isimler çekirdek çalışmalarının olanaklarını kavrayıp önderliği üstlendiler. Avrupalıların peşinde olduğu maceranın boyutlarının tümüyle gerçek dışı olduğunu anlamaları da çok sürmedi. Amerikalılar harcanması gereken çabayı belki on kat hatayla tahmin etmişlerdi, ama Avrupalıların ki bin kattı.

Pearl Harbor saldırısından sonra Lawrence'ın tutumu kökten değişikliğe uğradı, hemen ardından işliğini savaşın hizmetine soktu. Uranyum eşil ayrıştırılmasının büyük öneme sahip olduğunu öğrenince, bu sorunun üzerine en dolaysız yoldan atılmaya karar verdi, yüzlerce, dev gibi kütle tayfölçeri yapacaktı. Bu özel yöntemle eşil ayrılmasında ısrar etti, sonunda da başardı. Korkunç masraf yapıldı ve başarının bir bölümü de en azından yayılma yöntemlerinin koşut olarak kullanılıp tayfölçerlerin biraz daha zenginleştirilmiş özdekle beslenmesinden kaynaklanıyordu. İlk yapılanlardan biri olup Hiroşima'ya atılan bomba, Oak Ridge'deki, Lawrence'in kütle tayfölçerlerine verilen adla 'Calutron'lar kullanılıp ayrıştırılmış U^{235} içeriyordu.

Savaş sırasında, Lawrence'ın arkadaşı Oppenheimer, atom bombasının yapıldığı Los Alamos işliğine yönetici, böylelikle de ömründe ilk kez büyük güç ve sorumluluk sahibi olmuştu. Savaşın sonunda hem Lawrence hem de Oppenheimer epeyce olgunlaştı, özellikle de Oppenheimer o masum solcu görüşlerini değiştirdi. İkisi de halkın gözdesiydi, bu da Oppenheimer için tümüyle yeni bir deneyimdi. Zamanla birbirinden kopmaya başladılar ve ayrılıklarını, sonunda hidrojen bombasının yapılıp yapılmamasına ilişkin acı tartışmalarda iki ters hizibin bayraktarlığını üstlenmeye dek vardırdılar. Bu tartışmaları konu edinen çeşitli tiyatro oyunları ve kitaplar kaleme alınmışur. Çoğu Lawrence'e karşı olan bu yapıtlardaki tek yanlılık uç noktalardadır; öte yandan, Lawrence'ın, azizlerin hayatının anlatıldığı kitapçıklara benzer bir dille kaleme alınmış bir resmi yaşamöyküsü de vardır.

Lawrence ile Oppenheimer arasındaki karşıtlığın kökleri aykırı kişiliklerinde ve kendilerini içinde buldukları farklı çevrelerde yatmaktadır. Şimdi artık, bilim politikası ve hatta ulusal politika gibi konular üzerindeki farklı görüşlerini bağlı bulundukları üniversitelerde anlatabilmekteydiler. Her ikisi de, görüşlerinin yansısı olarak, coşkunca bağlı yakın arkadaşlıklarına sırt çevirmişti. En önemlisi, Lawrence ve Oppenheimer uluslararası ilişkiler ve Birleşik Devletler ile dünya için nelerin olası ve arzu edilir olduğu konusundaki değerlendirmeleri çok farklıydı. Oppenheimer'ın uluslararasıcılığı benimsemiş bir görüş açısı, güce ve Birleşik Devletler'in zayıflıklarına ilişkin gerçekçi düşünceleri vardı, gelecekte Rusya ile çatışmaya girilebileceğinden de korkuyordu. Lawrence ise, B. D.'in gücüne daha çok güven besliyor ve kuvvete dayalı teknik çözümlerle silahlanmanın etkili olacağına inanıyordu. Her ikisi de barış için çalıştığından ve davalarının doğruluk ve dürüstlüğünden son derece emindi. Aykırıkları, hâlâ açıkça sürmektedir.

SSCB'deki ilk çekirdek patlamasını (29 Ağustos 1949) izleyen günlerde, Macar asıllı kuramsal fizikçi Edward Teller (d. 1908), Lawrence ve L. W. Alvarez, Birleşik Devlet'lerin güvenliğinin sınırsız güçte - yani, gücünün sadece kullanılan özdek miktarına bağlı olduğu - ısılçekirdeksel (=thermonuclear) bir bomba yapılmasına yönelik çaba harcanması gerektiğine bağlı olduğu kanısını taşıyorlardı. Hükümet organları (=agencies) konu hakkında tavsiye bildirmekle görevlendirilmişti, Atom Enerji Komisyonu üyelerinin çoğunu barındıran Genel Tavsiye Kurulu (J. R. Conant, H. Rowe, C. S. Smith, L. A. Dubridge, O. E. Buckley, Oppenheimer, Fermi ve I. I. Rabi) farklı bir kanıya sahipti. Teller, Lawrence ve yandaşları, o zaman politik ve askeri görevlileri kendi yanlarına çekmek üzere bir kampanya

başlattılar. Çeşitli partilere, silahlı kuvvetlerin yüksek rütbeli subaylarına, kongre üyelerine, senatör ve bakanlara ulaşıldı. Ortamı zehirleyen gizlilik, halkın da tartışmalara katılmasını engelliyordu. Başkan Truman Ocak 1950'de, etkincileri yeğleyen son kararını verdi.

Lawrence'ın yürüttüğü programlardan bazıları teknik açıdan hatalı tasarlanmıştı ve başarısızlıkla sonuçlanınca büyük miktarda paraların boşuna harcanmasına neden oldu. Ne var ki, hidrojen bombası, Polonya doğumlu bir matematikçi olan S. Ulam ve E. Teller'in Los Alamos'da gerçekleştirdikleri bir buluşun ardından yine de yapılabildi. 1952 Kasım'ında patlatılan bu bomba da burada, yani Los Alamos işliğinde yapılmıştı.

İşlik içi ve kişiler arasındaki çekişmeler sonunda Teller ile Los Alamos işliği yöneticiliğini Oppenheimer'dan sonra üstlenmiş olan N. Bradbury'nin arası bozuldu. Sonuç olarak da Lawrence, kendi denetimi altında çalışacak ikinci bir silah işliğini Livermore'da kurabilmek için kampanya başlattı. Bu işlik 1952'de açıldı, ama bu tartışmalara taraf olan üst kadrodakiler arasında ortaya çıkan düşmanlıklar sürdü ve Oppenheimer hakkında sözünü ettiğimiz güvenlik aklamasının geri alınmasına katkıda bulundu. Livermore İşliği, B. D. askeri kuruluşları için önderler de yetiştirmişti. Tümü de Lawrence'ın bulup yetiştirdiği genç fizikçilerden olan H. F. York, H. Brown ve J. Foster arka arkaya Livermore İşliği'ni yönettikten sonra Amerikan askeri araştırma ve gelişme programına uzun süre önderlik ettiler.

Yaşamının son dönemlerinde Lawrence bir renkli televizyon sistemi bulup geliştirdiyse de, endüstrinin dikkatini pek çekemedi. Lawrence, kuşku yok, barışı içtenlikle istiyordu. Ama ne yazık ki, görüşleri çoğunluk safçaydı ve sonuçta herkesin güvenliğini sarsan silahlanma yarışının daha tırmasına yol açtı. Bir uzman olarak Cenova silahsızlanma konferansına katıldığı sırada, uzun süredir çektiği kalınbağırsak yangısı (=colitis) hastalığına yeniden tutuldu. Gerisin geri evine döndüyse de bir iki hafta sonra geçirdiği bir ameliyatın ardından 27 Ağustos 1958'de öldü.

Erişilmemiş Yüksek Enerjiler İçin Yarış

Savaşın bitmesiyle, Birleşik Devletler'de bilimsel araştırmaların desteklenip desteklenmemesi konusunda ikircemeli bir dönem yaşandı. Ulusal Bilim Kurulu önerilmekteydi, ama henüz kurulmamıştı. Donanma, araştırma ofisi (=Office of Naval Research) eliyle geleneksel etkinliklerinin dışında çok başarılı görevler yapıyordu. Savaş yıllarındaki Manhattan Kurulu'nun yerini alması amacıyla yeni oluşturulan Atom Enerji Komisyonu (AEK) yerine henüz oturuyordu. Lawrence'ın, ne yapmak istediğine ilişkin açık seçik görüşleri vardı, savaştaki başarıya ve kişisel güvene dayalı olarak General L. R. Groves ile ilişkileri de son derece iyiydi. İşin henüz başlarındayken generalin ve sonra da Atom Enerjisi Komisyonu'nun bitmek tükenmek bilmeyen desteğini kazanmayı başarmıştı. Yine de, AEK ve Kaliforniya Üniversitesi ile yaptığı anlaşmalara dayalı olarak çok geniş bir özerkliği vardı. Savaş öncesinin kıt olanakları yerini bol olanaklar almış ve Lawrence da sı-

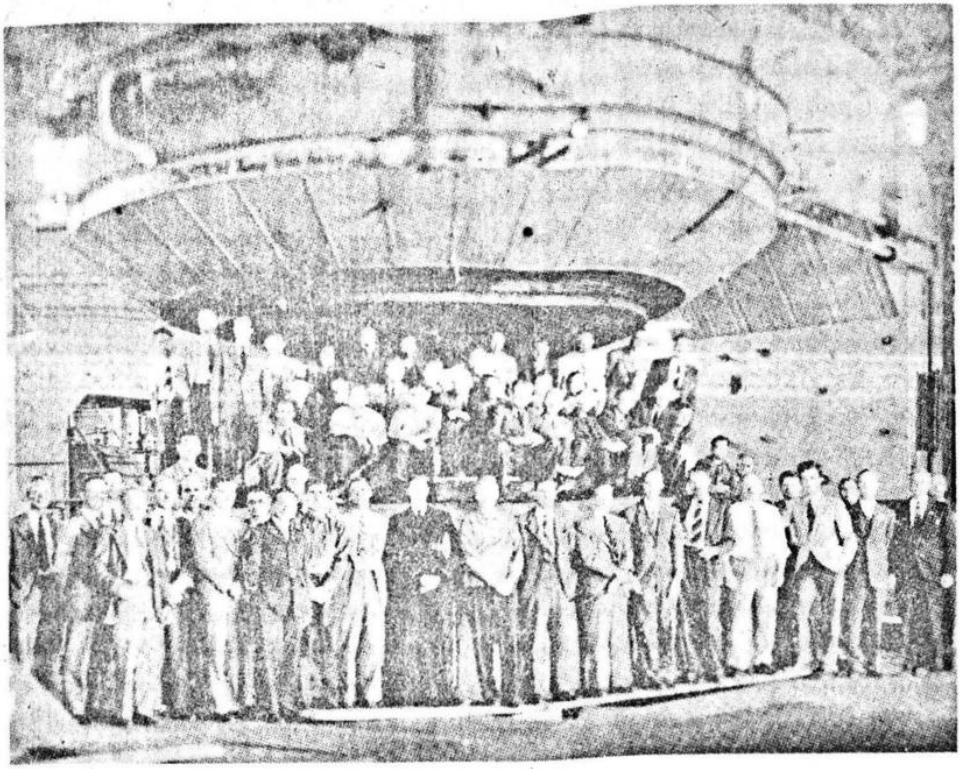
kıntılı durumundan kurtulup istediklerini yapma olanağına kavuşmuştu.Savaştan önce Lawrence, o zamanın en büyüğü olacak 100 MeV' lik bir siklotron yapmayı tasarlamıştı. Bu enerjiye çıkıldığında karşılaşılacak görelilikle ilgili zorluğun üstesinden hayvansı güç yöntemiyle geleceğini ummuştu.

Aygıtın mıknatısı önceden yapılmıştı, bu mıknatıs savaş sırasında dönüştürülerek Calutron araştırmalarında kullanıldı. Aygıtın başta tasarlandığı biçimiyle çalışıp çalışamayacak olduğunu bilmiyorum, ne yazık ki bunu sınamaya bile gerek kalmadı: Savaş sırasında McMillan, Los Alamos'da görelilik zorluklarının üstesinden gelecek bir yöntem buldu. Yöntem *evre dengeliliği* (phase satability) ilkesine dayanıyordu. İlginçtir, bu yöntem kısa bir süre önce McMillan'dan habersiz olarak V. I. Veksler tarafından Sovyetler Birliği'nde bulunmuştu. Bu sakin düşünebilen ve kibar iki insan, ne olduğunu çok geçmeden fark ettiler. Karşılıklı iyi niyetlerinden emin olarak öncelikle birbirinden kuşkulanmayı bırakarak Veksler'in erken ölümüne dek dost olarak kaldılar.

Birkaç yıl içinde, daha da yüksek enerjili ivmelendirici yapmanın ortaya çıkardığı zorlukları aşmak için ikinci bir buluş daha yapmak gerekti. *Yoğun odaklama* (=strong focusing) adlı bu yöntemin de meraklı bir öyküsü vardır. 1949'da, tümüyle bilim çevresi dışından olan Yunan asıllı Amerikalı bir mühendis, N. Christofilos, Lawrence'a "yoğun odaklama" konulu bir patent başvurusunda bulunmuştu. İvmelendirici içindeki parçacık demetleri, yüksek enerjilere ulaşmak için gereken bir özellik olarak, üst üste ivmelenmeye olanak sağlamak için, aygıtın içinde sonsuza yakın kez dönü yaparken birbirinden ayrılmaması gerekir. Yoğun odaklama, önemli bir kılgısal sonuç olarak yörüngelerin daracık borular içinde oluşmasına yol açar. Lawrence olasılıkla patent başvurusunu okumamış, bir iş arkadaşına göndermiş, o da üstünkörü bir okumadan sonra hiçbir şey anlamamıştı.

Birkaç yıl sonra, 1952'de E. D. Courant, M. S. Livingston ve H. Snyder, Christofilos'un çalışmasından habersiz olarak, aynı yöntemi, şık bir matematiksel bağıntılar dizisi içinde betimleyerek yeniden buldular ve yeni ivmelendiricileri bu yöntem üzerine inşa ettiler. Christofilos, bunu öğrendiğinde, haklı olarak üzüldü. AEK için de kabul edilecek bir durum değildi. Sorun, gerçeklerin hükümet kurumlarınca görülüp Christofilos'a bir işlikte iş verilmesiyle çözüldü. Christofilos, bu yeni görevinde çeşitli buluşlar yapmayı, 1972'deki ani ölümüne dek sürdürdü.

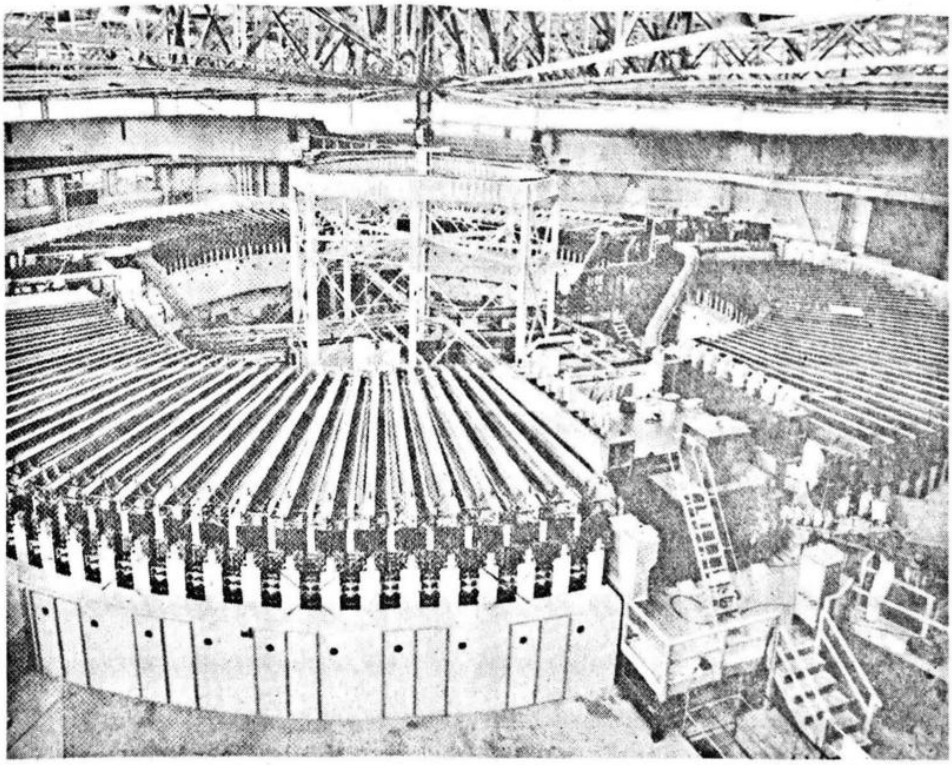
Savaşın hemen ardındaki dönem, ivmelendirici boyutlarında gerçek bir sıçrama gördü. Berkeley'deki Işıma İşliği'nin bilimci ve mühendisleri, sözü daha önce edilen mıknatısı kullanarak 4,7 metrelik zamandaş siklotronu (Resim 11.9) ve evre dengeliliği ilkesiyle çalışan bir elektron ivmelendiricisi olan siklotron yaptılar. Berkeley zamandaş siklotronu, yapay mezonları ilk kez üreten aygıttır. Bunu, 6,4 GeV'a çıkıp proton-karşıt proton çiftleri oluşturan Bevatron izledi (Resim 11.10). Benzer aygıtlar, dünyanın başka köşelerinde de yapılmaktaydı. Örneğin, Urbana'daki İlliyona Üniversitesi'nde D. Kerst, dışarıdan uygulanan hiçbir elektrik alanı olmaksızın ivmelendirmenin tümüyle irgitim yoluyla sağlandığı bir elektron ivmelendiricisi yapmıştı. Betatron denen bu tür ivmelendiriciler, savaştan önce D. Kerst tarafından icat edilmiş ve küçük ölçekler içinde sınanmıştı. Fermi ve arkadaşları,



Resim 11.9 Savaştan sonra yapılan 4,7 metre(=184 inç)lik zamandaş siklotron. Fotoğrafta, aygıtın yapımında çalışan sayısız görevliden bir bölümü görünmektedir. İlk yapay mezonlar bu aygıtta üretilmiştir. (Lawrence Berkeley İşliği.)

Berkeley'deki zamandaş siklotronun bir benzerini Şikago'da inşa ettiler; Doğu üniversitelerinin desteğiyle New York, Long İsland'da yeni kurulan Brookhaven Ulusal İşliği'nde M. Livingston ve arkadaşları 3GeV'a çıkabilen bir kozmotron (=cosmotron) kurmuştu. Sovyetlerin de Dubna'da 10 GeV'lik bir ivmelendirici kurmuş olduğu, 1955 Cenova Barış İçin Atom Konferansı'nda açığa çıktı.

Söz konusu girişimlerin örgütlenmeleri, maddi destekleri ve yapılarındaki değişikliklerle, bilim giderek yörel ya da özel desteklerden daha çok ulusal hükümetlere yaslanır oldu. Sonucunda da ulusal hükümetler bilim politikası üzerinde daha doğrudan etkiler yaratmaya başladı bu da ulusal işliklerin doğuşuna yol açtı. Son zamanlarda, destek tabanı çok sayıda ulusu kapsayacak biçimde genişletildi ve uluslararası işlikler gelişti. Hatta bir dünya ivmelendiricisinden söz edilmektedir artık, 10^{13} eV'luk enerjiye ulaşacak bu ivmelendirici, yapımına katkıda bulanacak ülkelere 1 milyar dolara mâlolacaktır. Nova'daki

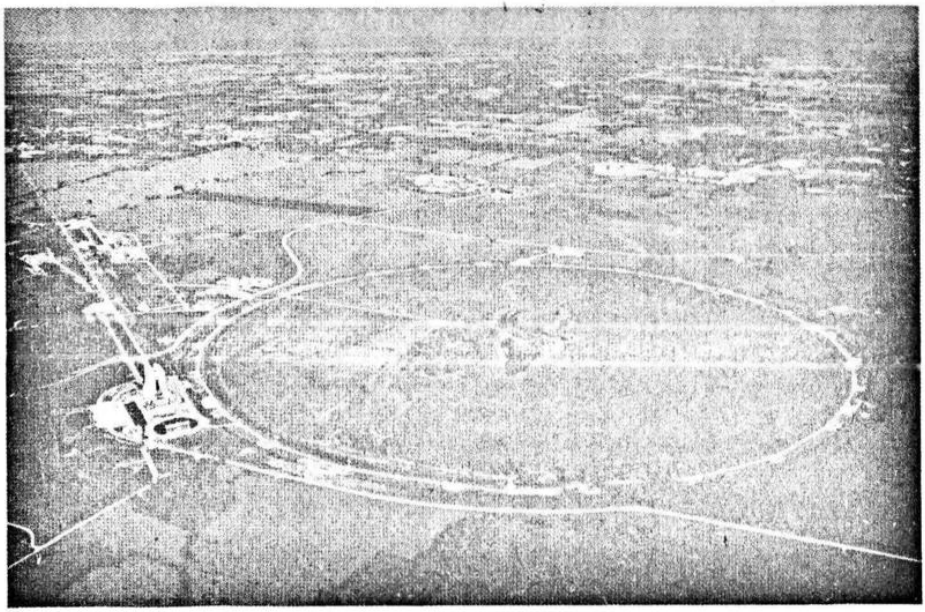


Resim 11.10 Bevatronun yapımı. 6,4 GeV'luk enerjilere çıkıp ilk proton karşıt proton çiftlerini oluşturan ve proton sinkrotronu ya da protosinkrotron denen aygıt. Büyüklüğünü, sağ alt köşedeki insanınkiyle kıyaslayın.(Lawrence Berkeley İşliği.)

CERN'dir (Centre Européen pour la Recherche Nucléaire). Parçacık fiziği alanında Avrupa'yı, Avrupalı hükümetlerin savaş çılgınlığı ve savaşın yol açtığı yıkımlar nedeniyle yitirdikleri bir konuma yeniden yükseltip, Amerika ile yarışabilir hale getirmiştir.

Günümüzün en büyük ivmelendiricileri arasında, İlliyona Batavya'daki, rekor düzeyde enerji (500 GeV) sağlayan Fermi Ulusal İvmelendirici İşliği (FNAL); SSCB Serpukhov'daki (76 GeV); Brookhaven Ulusal İşliği'ndeki (33 GeV) ve CERN (300 GeV) sayılabilir. Bu son ivmelendirici sahip olduğu biriktirme (=storage) halkaları sayesinde FNAL'a kıyasla daha düşük yeğinlikte olmasına karşın, daha büyük kütle merkezi enerjisi sağlayabilmektedir. Ayrıca, CERN'in, yapımı 1977'de biten 500 GeV'lik bir ivmelendiricisi daha vardır (Resim 11.11).

Şimdiye dek sözünü ettiklerimizin çoğu proton ivmelendiricisydi. Elektron ivmelendiricileri de, bu ağır parçacıklar için olanlar az çok koşut olarak ilerleme göstermiştir.



Resim 11.11 İllinoya Batavya'daki Fermi Ulusal İvmelendirici İşliği'nin havadan görünüşü. En büyük çember temel ivmelendiricidir; yarıçapı 1km'dir. Üç deney hattı, ivmelendiriciden teğet olarak çıkmaktadır. 16 katlı ikiz kuleler merkez işliğidir ve deney hatlarının kesiştiği tabanda görülmektedir. (Fermi Ulusal İvmelendirici İşliği.)

Geliştirilmeleri için Görelilik devinbilim, Newton devinbilimin aya gitmek için elzem olduğu gibi mutlaka gerekliydi. Bu da, doğruluğu hakkında hâlâ kuşku kalmışsa, göreliliğin en doğrudan kanıtlarından biriydi. Hızla devinen elektronların çembersel yörüngeler izlerken ortaya çıkan enerji yitimiyle başa çıkabilmek amacıyla, çizgisel ivmelendiriciler çembersel olanlara yeğlenir. Yüksek enerjilere çıkabilmek için, 8 GeV'lik kütle merkezi enerjilerine erişilebilmektedir.

Yüksek enerjiler için yarışta, parçacığın enerjisi, mermi ve hedef parçacıklarının dinginlikteki kütlelerine kıyasla büyük olduğu zaman ciddi sorunlarla karşılaşılmaktadır. Önemli olan mermi parçacığının işlikteki enerjisi değil, ama mermi ve hedef parçacıklarının kütle merkezi enerjisidir. Parçacık yaratmada işlevsel olan bu ikinci enerji değeridir. Proton proton çarpışmasında, kütle merkezi enerjisi en uç görelilik durumu için $E = \sqrt{2\,Mc^2\,E_{\text{işlik}}}$ bağıntısıyla verilir. Proton için Mc^2 0,938 GeV'dir ve bu yüzden, 1.000 GeV'lik bir proton işlikte dingin duran bir başka protona çarptığında kütle merkezi 43 GeV'lik bir enerjiye sahip olur. Aygıtların maliyeti, işlik enerjisine orantılı olarak, hatta

bazen daha da hızlı yükselir; açıkça görüldüğü üzere işlik enerjisini arttırarak yüksek enerjiler için yarışmak akıl kârı olmakan çıkmaya yüz tutmuştu.

22 GeV'lik iki proton demeti çarpıştırılırsa, kütle merkezinde 1.000 GeV'lik bir ivmelendiricininki ile aynı enerji elde edilir; buna karşın erişilebilir yeğinlikler çok küçük kalır. Çarpışan demetler, bugün için, olağanüstü büyük kütle merkezi enerjilerine biricik çözüm gibi görünmektedir.

1979'daki elektron-pozitron çarpışmaları için kütle merkezi enerji rekoru, Almanya Hamburg'daki Desy'de (Deustches Elektronen Synchrotron) elde edilen 30 GeV dolayındadır. Buna karşın kozmik ışınlar mutlak rekor değeri sağlamaktadır: 10^{20} eV. Yakın gelecek içinde bu değere herhangi bir işlik aygıtıyla ulaşmak olanaksız görünmektedir, ama kozmik ışınlar da denetlenemez ve uç enerji değerlerine nadiren sahip olurlar.

Aygıtlar için gereksinme parçacık fiziğini koşullamıştır. Araştırma alanının bu yanı önümüzdeki bölümde ele alınacaktır.

12

Çekirdeğin Ötesi

Savaş araştırmalarında görev alan fizikçiler savaşın sonunda, geleceklerini düşünmeye başlamışlardı. Büyük çoğunluğu, kimi öğrenci kimi de profesör olarak, savaş yüzünden kısa süre için ayrılmak zorunda kaldıkları üniversitelerine geri döndüler. Bu arada fiziğin çekim merkezi de Avrupa'dan Amerika'ya kaymıştı. Bunun önemli bir nedeni Avrupa'nın bombardımanlardan ötürü büyük yıkıma uğramasına karşın Amerika'nın savaştan kurtulmuş olması; bir başkası da savaş sırasında geliştirilen radar, atom bombası ve bilgisayar gibi önemli gelişmelerin Amerika'ya üstünlük sağlamasıdır. Daha az önemli olmayan bir başka neden ise, eksen ülkelerinin (Ç.N. 89) aptalca politikaları yüzünden bilimsel insan gücünün önemli çoğunluğunu yitirmiş olmalarıdır. Üstelik, yakıp yıkılan Avrupa'da yaşam koşulları savaştan sonra bile, eski çekiciliğinden çok uzakta görünüyordu.

Fizikte bazı büyük değişiklikler göze çarpıyordu. Çekirdek fiziğinde deneysel veri epeyce birikmişti. Birikimin hem nitelik hem de niceliksel olarak çok daha fazla artmasının da eli kulağında olduğu açıkça görünüyordu. Çekirdeksel tepkirler ve ivmelendirici aygıtlardaki yeni buluşlar beklenmediği kadar güçlü ışıma kaynaklarını kullanım alanına getirmişti. Radardan geliştirilen çeşitli yöntemler de, tümüyle yeni olanakları gündeme getirmişti.

Bilim toplum içinde yaygınlaşmış, bunun sonucu olarak toplum kaynaklarından epeyce cömert bağışlar sağlanabilir olmuştu. Amerika'da bilimsel araştırmaları finanse etmek üzere Ulusal Bilim Kuruluşu önerilmiş, ama kurulmasının yasal süreci yavaş olduğu kadar göreceli olarak güçsüz de kalmıştı. Bu arada donanma ve savaş sonrası yıllarda atom ener-

---

(Ç.N. 89) Müttefikler.

jisiyle ilintili tüm etkinlikleri denetlemek üzere kurulan Atom Enerjisi Komisyonu, durum açığa kavuşana dek temel araştırmaları birlikte desteklemeye karar vermişlerdi. Donanmanın davranışı, tarihsel bakış açısından dikkat çekicidir. Yüksek rütbeli komutanlar, kendi çıkarları için, açık ya da kapalı hiçbir bağı olmadan tümüyle özgür ama etkin bir bilim programını desteklemenin, filodaki gemi sayısını bir iki arttırmaktan daha yararlı olacağı kararına varmışlardı. Böylece donanma, kendi amaçları ile hiçbir gerçek bağlantısı olmayan her türlü üstün nitelikteki bilimsel araştırmayı finanse etmeye başladı.

Savaş sonrası dönemin öğrencileri de önceki kuşağa kıyasla çok farklıydı; çoğunlukla teknik açıdan daha hazırlıklı ve olgunlardı. Oak Ridge'de teknisyen olarak çalışmış bir asker, üniversite işliklerinde yıllarca sürmüş eğitimin verdiğine eşdeğer kılgısal bilgiye ve B. D. Donanması'nda görevli bir denizci de elektronikte iyi bir bilgi birikimine pek ala sahip olabiliyordu.

Tüm bunlar, savaştan sonraki dönemde Birleşik Devletler'in bilimsel çabalarına büyük güç katıyordu.

Temel Parçacıklar

Yeni bir alan filizlenmek, ya da daha doğrusu eski bir alan çiçeklenmek üzereydi: temel parçacık araştırmaları. Savaştan önce protonlar, nötronlar, elektronlar, fotonlar ve nötrinolar biliniyordu; kozmik ışınlar içinde de elektronlarınkinden 200 kat daha büyük kütleli parçacıklar, o zamanki adıyla mezotronlar gözlenmişti. Dünyanın bileşenleri, sadece proton, nötron ve fotonların bilininip bunların özdeğin yapısını açıklamaya yettiği 1929 yılındaki kadar olmasa da epeyce yalın görünüyordu. Gelişmeleri yakından izleyen fizikçiler, temel parçacıkların fiziğin yeni sınırlarını biçimleyeceğini çoktandır kavramışlardı Henüz keşfedilmemiş topraklarda ilerlemeye kısa sürede yol açacak en temel problemleri ve deneysel araçlar da öngörmüşlerdi.

Çekirdek fiziği ve katı hal fiziği gibi başka alanlar da umut yüklüydü. Ne var ki, bu alanlarda gündeme gelen sorunlar, parçacık fiziğindekilerden daha ilginç ve uygulama açısından daha önemli olsalar bile daha az temel nitelikteydi; yani daha az genel, daha az yeni ve bazı yerleşmiş kavramları değiştirmeye ya da yeni ve hiç beklenmedik başkalarını ileri sürmeye daha az uygundu.

Fizikle bağlantılı ama konuları biraz daha uzak olan yerfiziği (=geophysics), gökfiziği (=astrophysics) ve molekülsel yaşambilim (=molecular biology) gibi bilim dalları da gelecek için umut veriyordu. Ne var ki bu dallar, bir fizikçi için tümüyle yeni bir alanda eğitim görmeyi gerektiriyor, bu alanlara özgü yeni düşünüş biçimlerini benimsemek ise, pek kolay olmuyordu. Ancak bir iki fizikçi gerekli dönüşümü başarabilmiş, karşılığını da cömert ödüllerle görmüştü.

Kendi alanlarında ön saflarda olmak isteyen fizikçiler, parçacık fiziğine yönelmek zorundaydılar.

Savaşın sonunda kozmik ışınlar yüksek enerjili parçacıklar için biricik kaynak olma özelliğini henüz korumaktaydı. Gelgelelim, ancak Tanrı istediğinde gözlenebiliyor,fiziğin diğer alanlarında hep yapıldığı gibi enerjilerini değiştirerek ya da değişken koşullar atında deneyler yapmanın hiç bir olasılığı bulunmuyordu. Öte yandan, saptama (=detection) yöntemlerinde epeyce ilerleme sağlanmıştı ve bir iki yıl için de olsa kozmik ışınlar, o zamanlar işliklerde erişilebilecek her hangi bir şeyden çok daha enerji yüklü olduklarından, parçacık kaynağı olarak ivmelendiricilerle rekabet edebiliyorlardı. Kozmik ışınlar aynı zamanda masrafsız olmak gibi üstün bir ayrıcalığa da sahipti, bu da özellikle savaş yıkımına uğramış Avrupa ülkeleri için tanrı nimetiydi. Dikkat çekici bir özellik, kozmik ışığı araştırmalarında İngiliz ve İtalyan gelenekleri savaşın hemen ardından canlanmış olmasıydı.

Birleşik Devletler'de kozmik ışınların enerjilerine ulaşma çabaları, daha büyük ve daha iyi ivmelendiricilerin yapımında odaklanmıştı; bunu başarmak, hiç değilse geçici bir süre için maddi sıkıntı çekmekte olan Avrupa'da hemen hemen olanaksız olduğundan saptama yöntemlerinin geliştirilmesine ağırlık verilmişti. En güçlü ve en yalın ilerlemelerden biri, ışığınkine yakın bir hıza sahip yüklü parçacıkların bıraktığı izi saptayan fotoğraflama yöntemiydi. Daha yavaş parçacıklar daha çok iyonlaşmaya yol açar ve dolayısıyla daha kolay saptanır, ama ışığınkine yakın hızlarda devinen parçacıklar gözlenen olayın anlamlı irdelemesinin yapılabilmesi için elzemdir. Kozmik ışınları fotoğraflama yöntemiyle çalışan İngiliz ve İtalyan araştırmacılar gerçekten önemli buluşlar yapmışlar, böylelikle fiziğin alabildiğine ilginç ve en ucuz alanlarından birini keşfetmişlerdi. Parçacık fiziğinin ucuzluğunun bir yanılsama olduğu ise,- aslında fiziğin en pahalı alanlarından biridir - kuşkusuz ileride anlaşılacaktı, ama o günlerden bu yana mali koşullar iyileştirilmiştir, Avrupa'da bile devasa ivmelendiriciler yapılabilmektedir.

Japonya'da Yeni Bilim

Gelin fiziğe geri dönelim. Üstün kuramsal düşünceler ileri sürmüş bir Japon fizikçiyle ilk kez karşılaşıyoruz, Hideki Yukawa (1907-) (Ç.N. 90).

Yukava'dan söz etmeden önce konu dışına biraz çıkıp Batı fiziğinin Japonya'daki gelişimine değineceğim. Meiji'lerin onarım (=restoration) döneminde 1868'de Japonya'da yerli teknolojinin geliştirilmesi yolunda büyük adımlar atılmıştı ama Batı'lı anlamdaki bilimden eser bile yoktu henüz. Tuğamiral Perry'nin 1853'deki ziyareti ve limanların yabancı ticarete açılması konusundaki baskısının ardından, Japonya'nın önderleri ülkeyi modernleştirmeye karar verdiklerinde "bilim"in önemini kavrayıp bir Fransız ve bir de İngiliz fizikçi ithal ederek, alanlarında öğretmenlik yapmak üzere Tokyo'da görevlendirmişlerdi. Dil sorunları yüzünden bu iki okul birbiriyle kaynaşamadı ve İngiliz fiziği ile Fransız fiziği bir süre için Ja-

(Ç.N. 90) H.Yukawa, 8 Eylül 1981'de Kyoto, Japonya'da ölmüştür.

ponya'da ayrı ayrı var oldu. Bazı samuraylar da fizik öğrenmek üzere Avrupa'ya gönderilmişti. Bilimsel ilgilerinin çok sınırlı olduğu apaçık ortadaydı, ama ulusçuluk duyguları çok yüksekti ve bilimi askeri amaçlarla öğreniyorlardı. Bu samuraylardan birinin, başka dile çevrilmemiş özyaşam öyküsü bu vahşi Batı karşıtlığının ve Batılı barbarların aşağılanmasıyla dopdoludur, ne var ki bu duygular, şimdi geçmişe bakıldığında tehlikeli bir karışım olduğu görülecek ölçüde, Batı başarılarının hayranlığıyla karışmış durumdaydı. Bu samuray, Batı biliminin olanakları hakkında kuşku duyuyordu ilkin, ama ne zaman ki gezi amacıyla içinde bulunduğu geminin kaptanı, o gün öğleden sonra okyanusun ortasında bir gemiyle karşılacaklarını duyurup da olay gerçekleşince, tüm düşünceleri değişikliğe uğramıştı.

Bu erken Japon öncülerin ardından, daha iyi hazırlanmış başkaları geldi. Bunların bilime karşı ilgileri ve anlayışları kendiliğinden gelişmişti, aralarında Hantaro Nagaoka (1865-1950) en önemli isimdi. Yüzyılın başında Avrupa'yı ziyaret etmiş ve anlaşıldığı kadarıyla o günlerin önemli fizik sorunları hakkında bilgi toplamıştı. Nagaoka, Japon biliminin önderlerinden biri oldu ve yönetici olmasının da katkısıyla büyük etki yarattı. Tokyo Üniversitesi'nde yıllarca fizik öğretmenliği yaptı, ama 1931'de yeni İmparatorluk Üniversitesi Osaka'da kurulunca, isteyerek olmasa da başkanlığına atandı.

Bilim ve ulusçuluk, Nagaoka'nın en baskın ihtirasları arasındaydı. Geçici bir süre için Scotland Glasgow'da bulunan profesörü Tanakadate'ye, dikkatinizi çekerim İngilizce olarak, yazdığı bir mektup, çoğu aradan geçen zamanla değişmişde olsa, duygularını çok güzel bir biçimde açıklamaktadır:

> *Gözlerimizi dört açarak, keskin görüşle ve hemen kavrayarak, hiç durmaksızın ve yorulmak bilmeksizin çok çalışmalıyız. Şu aramızdaki, dikkatlice çalıştıklarını sanan, ama gözlerini, ağızlarını ya da ceplerini ilgilendiren herhangi bir şey olduğunda çalışmaktan çabucak vazgeçen halk sınıflarına izin vermemeliyiz. Beyazların herşeyde üstün olmaları için hiçbir neden yok, senin de söylediğin gibi, önümüzdeki 10-20 yıl içinde şu* yattya hottya *[kendini beğenmiş]ları yeneceğimizi umuyorum: Atalarımızın beyazlar karşısında kazandıkları zaferleri* jigoku *[cehennem]den teleskopla seyretmenin hiçbir yararı olmadığını düşünüyorum. Şu beyazları yenmemizdeki bir başka zorunluluk kendi yaptıklarımızı nasıl tanıtacağımızdır. Bu çok güçtür. İlk adım olarak Japonca yazamıyor ve batılıların bizim yazdıklarımızı anlamalarını sağlamalıyız. Onların dilini almalı ve beyazların bizi anlamalarını sağlamalıyız. Gerçekten, senin de katıldığın gibi, beyazlar her konudan söz edebiliyor, ama bizim durumumuzda, sanki yeterince konumuz yokmuş gibi konuşmayı bile beceremiyoruz. Bunun büyük bir eksikliğimiz olduğunu düşünüyorum ve eğer mümkünse, açık ve akıcı bir biçimde yazıp konuşmalıyız. Diller üzerinde herhangi bir tercih olduğunu düşünmüyorum, say ki İngilizce olsun, Fransızca ya da Almanca. Lütfen, bu nokta hakkındaki düşünceni aksettir. Şimdi bu rüyaları bırakıp, burada olup bitenlerden söz edeceğim... [K. Koyzumi,* "Fiziksel Bilimler Üstüne Tarih Araştırmaları," *cilt. 6, s. 87 (1975)]*

Nagaoka, Batılı dergilerde - mıknatıslık, tayfölçüm ve bazı başka konularda - birçok makale yayımlamıştı. En önemlisi, güneş sistemine benzer bir atom modelini 1903'de ileri sürmüş olmasıydı. Mıknatıslık ise, Japon fizikçilerin geleneksel olarak yeğledikleri ve hem kuramsal hem de deneysel önemli katkılar yaptıkları bir konuydu.

Bununla birlikte, bilimde en önemli Japon etkisini yaratmış olan Y. Nishia'dır (1890-1951). İlkin, Tokyo'da elektrik mühendisliği eğitimi görmüş, sonra Avrupa'ya gitmiş ve bir kuramsal fizikçi olarak geri dönmüştü. Kopenhag'da Bohr eEstitüsü'nde çalışmış ve burada Swede O. Klein ile birlikte, o zamanların en zor kuramsal yöntemini kullanarak, Compton saçılımı için ara kesit hesaplamıştı. Almanya'da Heisenberg ile de çalışmıştı. Sonunda Japonya'ya döndüğünde, bir bölümü hükümet bir bölümü de özel kaynaklardan sağlanan destekle kurulan Fizik ve Kimya Araştırmaları Enstitüsü'ne katılmıştı. Bu kuruluşun Japon fiziği üzerinde çok büyük etkisi vardır. En seçkin genç Japon fizikçilerin büyük bir oranının Nishina okuluyla doğrudan ya da dolaylı bir bağı vardı.

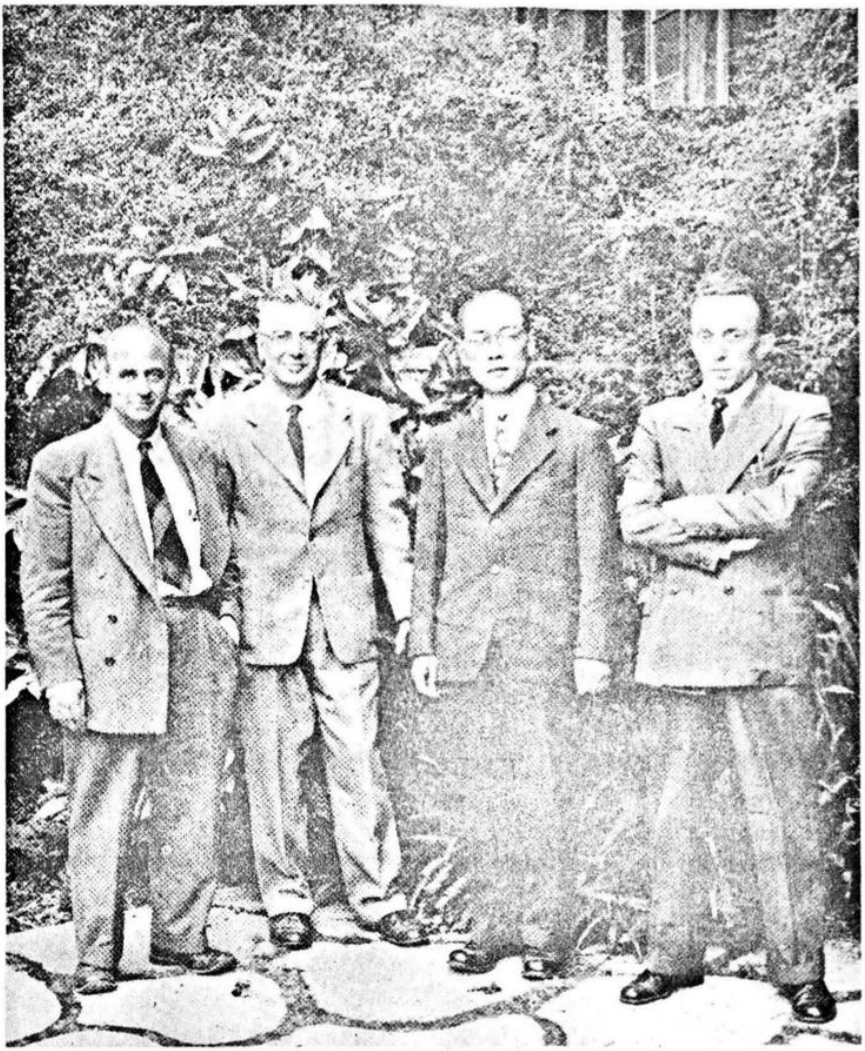
Bu kuruluşun çok önemli olmasının nedeni, üyelerinin yaptığı buluşlar ve öğretmenlerinden birinin Hideki Yukawa (Resim12.1) olmasıydı. Yukawa, 1907'de Tokyo'da bir yerbilim profesörü olan Takuji Ogawa'nın oğlu olarak doğmuştu ama 1932'de karısının ailesince evlatlığa kabul edilince Yukawa soyadını almıştı. Öğrenimi tümüyle Japonya'da, çoğunca da Kyoto'da geçti. Öğrenimi belli bir yere kadar kendi çabasının ürünüydü. Okul arkadaşı ve dostu Sin-itiro Tomonaga ile birlikte paketçik devinbilimini, özgün makalelerden ve kitaplardan okuyarak öğrendi. Nishina'nın Avrupa'dan dönmesiyle, elektromanyetik araştırmalarıyla ünlenecek olan Tomonaga, Fizik ve Kimya Araştırmaları Enstitüsü'ne gitmişti. Yukawa ise, Avrupa'da eğitim görmüş ve oraya Fizik ve Kimya Araştırmaları Enstitüsü'nden gelmiş bir fizikçi olan Seishi Kikuchi'nin bulunduğu Osaka Üniversitesi'ne gitmişti.

1935'de Osaka'dayken, Yukawa çığır açan bir makale yazdı. Makale tam ve belki tümüyle de doğru değildi, ama olağanüstü yaratıcı ve sonraki gelişmeler üzerinde etkili olmuş yepyeni temel düşünceler içermekteydi.

Yukawa, Kyoto Üniversitesi'nde seçkin bir kuramsal fizik okulu yarattı. Özellikle kuramsal parçacık fiziği alanında dünya çapında önem kazanan *The Progress of Theorethical Physics* dergisinini de kurdu. Burada yer alan görüş ve düşüncelerin çoğu Batılı yazından bağımsız olarak ortaya konuyor ve Japon dergilerine erişme olanağı olmayan yazarlarca, sonradan ya da aynı zamanlarda bir kez daha keşfediliyordu. Bu tür olaylara, İkinci Dünya Savaşı sırasında ya da hemen arkasında çok sık raslanmıştır.

Matematik dili ve İngilizce deyimler, Japon ve Batılı fizikler arasında bir köprü oluşturuyordu, ama ekinsel (=cultural) temel farklılığı, arada bir de olsa, göze çarpıyordu. Kuşkusuz, bu durum fiziğin ilerlemesi açısından yararlıydı, çünkü her şeyden önce konuyu, birbirinden uzak noktalardan bakarak ele alma olanağı sağlıyordu.

Yukawa, Fizikte Nobel Ödülü alan ilk Japondur. 1949'da aldığı bu ödül ona ülkesinde olağan dışı bir saygınlık kazandırmıştır. Japonlar, Batı ile bilimsel denklik sağladıklarının



Resim 12.1 Hideki Yukawa (soldan üçüncü) Berkeley'i 1848'deki ziyaretinde. Aynı fotoğrafta soldan sağa, Fermi, Segrè ve G. C. Wick de yer alıyor. Yukawa, öğrenimini baştan sona Japonya'da tamamlamış ilk fizikçiydi. Kuramı, mezonları çekirdeksel kuvvetlerin paketçiği olarak yorumluyordu. (Fotoğraf; E. Segrè.)

canlı bir kanıtı olarak onu görmeye geliyorlardı. Böylelikle Nagaoka da, 1950'deki ölümünden önce rüyalarının gerçekleştiğini görme olanağına kavuşmuş oluyordu.

Yukawa'nın görüşlerinin yalın bir özeti şöylece çıkarılabilir. Fotonların elekt-

romanyetik alan ve kuvvetleriyle bağıntılı olduğu biliniyordu. Yukawa, çekirdeksel alan ve kuvvetleriyle bağıntılı paketçik özelliklerinin ne olduğu sorgulamıştı. Görelilik kuramıyla belirsizlik ilkesinin yalın uygulamasından biraz daha öteye giden irdelemesiyle çekirdeksel kuvvetler paketçiğinin de sonlu bir dinginlik kütlesine sahip olması gerektiği sonucuna ulaştı. Bu dinginlik kütlesinin, elektron kütlesinden aşağı yukarı 200 kez dahabüyük olması gerektiğini tahmin ederek ileri sürdü. Bu durumda, söz konusu paketçiğin mc^2 enerjisi de 100 MeV dolaylarında olmalıydı. Üstelik, bu parçacık üç ayrı biçimde görünmeliydi: yüksüz ve yük yeğinliği protonunkine eşit olmak üzere artılı, ya da eksili.

Yukawa'nın irdelemesi şöyleydi: Çekirdeksek kuvvetler 10^{-12}'den 10^{-13} cm dek küresel bir etkinliğe sahipti. Bu da, bu değere eşit r_0 uzaklığında kuvvetin birden bire azaldığı anlamına geliyordu. Oysa, bildiğimiz elektrik kuvvetin potansiyeli $U(r) = e / r$ bağıntısında böylesi belirleyici bir uzaklık niceliği yoktu. Şimdi artık iki nukleon arasındaki kuvveti, birinin yayımladığı paketçiğin öteki tarafından emilmesi biçiminde yorumlamak olasıdır. Paketçik, yayımlayan nükleondan emene gidebilmek için r/c 'ye eşit zamana gerek duyar, çünkü, göreliliğe göre, ışığın c hızını geçemez. Paketçik aktarımı sırasında enerji korunumu geçerliliğini yitirir, çünkü nükleonlardan biri paketçik kütlesi ve buna karşılık gelen mc^2 fazlalığına sahip olur. Bununla birlikte, enerji ölçümünü yapmaya yetecek süre t olmak üzere, enerji

$$\Delta E = \frac{h}{2\pi} t^{-1}$$

değerinden daha duyarlı olarak ölçülemez. Bunun nedeni, paketçik devinbilimin belirsizlik ilkesidir. Dolayısıyla ΔE değerine eşit miktarda enerji, korunum ilkesini bozmadan "borç" alınabilir. Şimdi, eğer ΔE, $m c^2$'ye ve t de r_0 / c'ye eşit kılınacak olursa

$$m = \frac{h}{2\pi r_0 c}$$

olduğu bulunur. Paketçikler için sonlu kütle varsayımı, etki yarıçapını kendiliğinden sınırlar. r_0 için 2×10^{-13} cm alınıp evrensel değişmezlerin değerleri yerlerine koyarak m 'yi elektron kütlesinin 200 katı ve enerjiyi de yaklaşık olarak 102 MeV buluruz

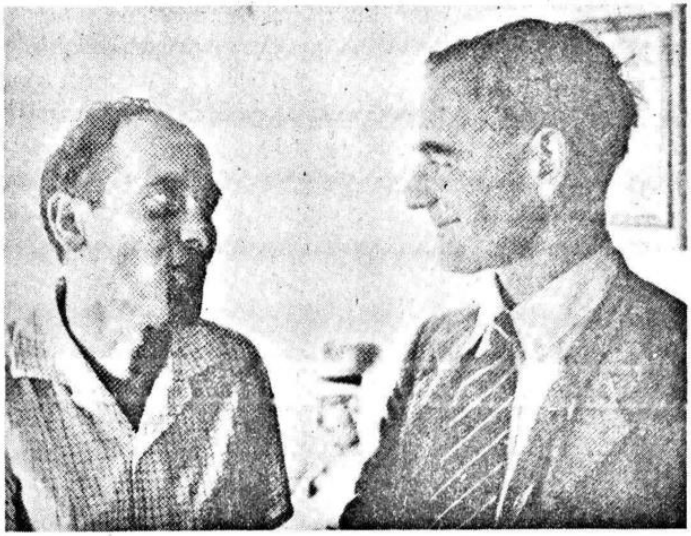
Deneysel veriler, nötron ile proton, proton ile proton ve nötron ile nötron arasındaki kuvvetlerin eşit olduğunu göstermektedir, bunlar da paketçiklerin yükü için $\pm e$, ya da sıfır değerlerini gerektirmektedir. Yukawa, elektronunkinin 200 katı kütleye ve ya yüksüz ya da bir artı veya bir eksi yük birimine sahip ve nükleonlarla kuvvetlice etkileşen parçacıkların varlığı sonucuna böylelikle ulaşmıştı..

Fermi'nin de, beta bozunumu kuramını geliştirdiği sıralardaki görüşleri aynıydı. Nötrinoların, bir alanın paketçiği olabileceğini düşünmüştü, ama önemli sonuçlar elde edemediğinden bu konu üzerine hiçbir şey yayınlamamıştı. Yukawa, Fermi'nin beta bozunumu hakkındaki makalesini çalışmış ve kendi makalesinde açıkça kaynak olarak göstermişti. Yukawa'nın makalesi *Journal of the Mathematical and Physical Society of Japan* adlı dergide 1935'de yayımlandığında dikkat çekmiş ama büyük heyecan yaratmamıştı. O zamanlar Yukawa tarafından öngörülen türden herhangi bir parçacık henüz gözlenmemiş olduğundan, ilginç tahminler içeren bir makale olarak kalmıştı.

Piyon'un Bulunuşu

C. D. Anderson (positronun kâşifi) iş arkadaşı (sonraları ilk atom bombasında kullanılan önemli buluşları yapan) S. H. Neddermeyer, M. L. Stevenson, J. C. Street, R. B. Brode ve arkadaşları gibi kozmik ışın araştırıcıları kütlesi elektronunkiyle protonunki arasında olan kozmik ışın parçacıkları bulmaya ancak 1937'de başlamışlardı. En iyi ölçümler kütleyi elektronunkinin 200 katı olarak veriyordu. Mezotron adı verilen bu parçacıklar serbest haldeyken dengesiz ve 2 mikrosaniye yarı ömürlüydüler. Ortalama yarı ömürleri, ilkin güç bir işlem sonucunda kozmik ışın yeğinlikleri ufuk üstünde değişik yükseltiler ve değişik açılarda gözlenerek, sonra da F.R rasetti tarafından doğrudan doğruya ölçülerek saptanmıştı. Gelgelelim kozmik ışın deneycileri ilk gözlemleri sırasında, Yukawa'nın çalışmasından henüz haberdar değillerdi. Savaş deneysel araştırmaları yavaşlatmış ve Japonya'yı Batı'dan yalıtlamıştı. Japon fizikçileri, Yukawa'nın öngördüğüne yakın kütleli parçacıkların varlığını öğrenince epey şaşırmışlardı. Ne var ki, mezotronları Yukawa parçacığı diye tanımlamakta bazı güçlükler olduğunun da farkındalardı; herşeyden önce mezotronların ortalama ömrü çok uzundu. Buna karşın, mezotronlar özdek içinde, her zaman değil arada bir de olsa, durdurulduğunda ortamın çekirdekleriyle etkileşiyorlardı. Bu olgunun araştırılması, üç genç İtalyan fizikçinin; M. Conversi, E. Pancini ve O. Piccioni'nin önemli bir deneysel buluşuna yolaçtı.

Bu üç insan, onları Almanya'daki çalışma kamplarına göndermek üzere arayan Almanlardan saklanıyor, bu yüzden de çalışmalarını bir kiler odasında el altından sürdürüyorlardı. Özdek içinde durdurulan artılı ve eksili mezonların farklı biçimlerde davrandığını buldular. Artılı mezotronlar, az çok, sanki boşluk içindelermiş gibi bozunuyorlardı. Eksili olanlar ise, ağır çekirdekler tarafından durdurulduğunda yakalanıp bozunuma yolaçıyorlar, ama karbon gibi hafif çekirdeklerce yakalandıklarında büyük bir çoğunlukla boşluk içindelermiş gibi bozunuyorlardı. Bu Yukawa parçacığından beklenen davranış biçimi değildi. Mezotron bir çekirdeğin yeterince yakınına gelir gelmez belirgin çekirdeksel kuvvetler bozunumuna yol açacağından, hafif ya da ağır çekirdeklerle şiddetli bir etkileşmeye giriyor olmalıydılar. Ama, deneyler durumun böyle olmadığını gösteriyordu, demek ki mezotronlar Yukawa parçacıkları değildi.



Resim 12.2
G. Occialini (solda) ve C. F. Powell, 1960'larda bir fizik toplantısı sırasında. (Fotoğraf; E. Segrè.)

Durum çetrefildi gerçekten. Yukawa, 300 elektron kütlesinde parçacıklar öngörmüştü; yeni parçacıklar bulunmuş ama aynısı olmadığı anlaşılmıştı. Kuramsal fizikçiler, deneysel açıdan sağlam görünse de Conversi, Pancini ve Piccioni'nin deney sonuçlarından kuşku duyuyorlardı, bunun üzerine bir açıklama bulmak amacıyla kolları sıvadılar. Japonya'da Tanikawa, Sakata ve Inoune kadar Birleşik Devletler'de H. A. Bethe ve R. Marshak birbirlerinden bağımsız olarak, söz konusu güçlükleri giderecek bir öntez ileri sürdüler. Buna göre, gözlenen mezotronlar, Yukawa mezonlarının bozununm ürünleriydi. Ne var ki, akla yakın ve çekici öntezler yapmakla gerçeği sorgulamak da ayrı şeylerdi.

İşte bu noktada yepyeni bir deneysel yöntem, daha doğrusu, eski bir yöntemin biraz daha iyileştirilmesiyle elde edilen yeni biçimi birden önem kazandı. Birinci Dünya Savaşı'ndan önce, Rutherford'un işliğinde çalışan bir Japon fizikçi, Kinoshita, fotoğraf eriyiğine çarpan alfa parçacıklarının ardında iz bıraktıklarını ve bu izin banyo işleminden sonra kalıcı olduğunu kanıtlamıştı. Böylece, parçacık izlekleri görülebilir kılınmıştı. (Paketçik devinbilime, belirsizlik ilkesine ve parçacıkların dalga özelliğine ne olduğunu sorabiliriz. Aklına bu gibi sorular takılan okuyucu rahat etsin, çünkü, örneğin Heisenberg tarafından, verilmiş oldukça doyurucu ve ayrıntılı yanıtlar vardır.) Kinoshita'nın kullandığı eriyikler sadece ağırca olan iyonlara duyarlıydı ve bu nedenle de elektronlar saptanamıyordu.

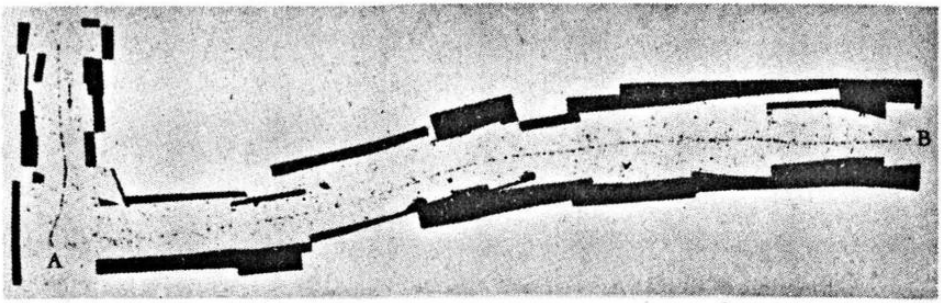
C. T. R. Wilson'un ve Rutherford'un ilk öğrencilerinden olan Bristol'den Profesör Cecil Powell (1903-1969), asıl araştırma alanı gaz yükboşalımları olmasına karşın, parçacık saptama yöntemlerine karşı da bir ilgisi vardı. Parçacık fiziğinde yakında atılacak büyük adımlarda belirleyici bir rolü olacaktı (Resim 12.2) Piyonun keşfine yol açan olaylar şöyle gelişti:

1945'de Powell'a, savaşın sona ermesinden az önce Brezilya'dan İngiltere'ye dönmüş olan G. P. S. Occhialini tarafından iş verilmişti. Occhialini'yi, fotoğraflama yönteminin olanakları heyecanladırıyordu, bu nedenle de, levhaların (Ç.N. 91) kayıt kalitesinin geliştirilmesi düşüncesiyle Ilford şirketine bile başvurmuştu. Fotoğraf yönteminde güvenilir uzunluk ölçümlerinin yapılabileceği kanıtlanmıştı, ama bununla birlikte, izlerin birbirinden netlikle ayırt edilebilmesi için, eriyik içindeki tanecikli yapı (=grains) sayısının epeyce çok olması gerektiği de biliniyordu. Bu ise, parçacık izinin her birim uzunluğundaki başına çarpışılan atomlardan kaynaklanan iyon sayısına bağlıydı. Bu sayı da, parçacığın hızıyla azalmaktaydı. Dolayısıyla, o zamanki koşullarda sadece göreceli olarak düşük hızlı parçacıklar saptanabiliyor, ama özellikle kozmik ışınlarda görülen hızı ışığınkine yakın olan parçacıklar ise kayıt edilemiyordu.

Eriyiğin kayıt kalitesinin arttırmanın olası görünen bir çok yolu vardı, örneğin içindeki tanecikli yapıların büyüklüğü ve duyarlığı ya da birim oylum içindeki sayısı arttırılabilirdi. O zamanlarki İlford'un araştırmacı kimyacısı olan C. Walter, İlford'un üretim yöntemlerinden yararlanarak, gümüş bromid yoğunluğu muazzam arttırılmış eriyik yapmayı başardı. Yeni eriyiklerin kullanılıp banyo edilmesinden sonra, verimlilikte epeyce ilerleme sağlandığı açıkça anlaşıldı.

1946'nın sonunda Occhialini, yeni eriyikle kaplanmış - yaklaşık 50 mikron kalınlığında eriyik içinde her 2 cm x 1 cm'lik alanda aşağı yukarı bir düzinelik - biriki tane küçük levha alıp, Pireneler'de 3000m yüksekliğindeki Pic du Midi gözlemevinde fotoğraf çekmekte kullandı. Filmler açılıp Bristol'de banyo işleminden geçirilir geçirilmez baştan sona yepyeni bir dünyayla karşılaşıldı. Bir yavaş protonun izi, eriyiğin tanecikleriyle öylesine kalınlaşmıştı ki, gümüşten kaskatı bir çubuk gibiydi. Ayrıca, eriyiğin minnacık her oylumu mikroskop altında son derece dallı budaklı görünüyordu. Çünkü, o zamanlar yapay yollardan elde edilebilir her parçacıktan çok daha fazla enerji yüklü olan hızlı kozmik ışın parçacıkları, çarptığı yerde yoğun bir bozunmaya yol açıyordu. Birdenbire, büyük bir bolluk içinde el değmeden büyümüş yabansı meyvalarla yüklü ayrıcalıklı ağaçlardan oluşan yasak bir bahçeye girilmiş gibiydi sanki.

Bu yeni gözlemler, işlikte daha önce hiç görülmediği kadar canlı bir heyecan ve umut yaratmıştı. Yeni eriyik kullanılarak yapılan filmin üzerindeki her alan parçasında dehşetli bir araştırma yürütülüyor ve adım adım daha çok deneysel malzeme toplanıyordu. Levhaları mikroskoplarla tarama işini, genç kızlar üstlenmiş, böylelikle de soluk soluğa bir av başlamıştı. Hemen her gün yeni ve heyecan verici şeyler ortaya çıkıyordu. İşin başında kızlardan biri araştırma sırasında, bozunmaya benzer herhangi bir "olay" bulacak olursa, bunu fizikçilerden birine haber verip, dikkat çeken herhangi bir özellik bulunup bulunmadığı konusunda incelettirmek zorundaydı. Çok geçmeden, henüz üniversite dördüncü sınıfta olan Peter



Resim 12.3 Piyon parçacığının ilk resimlerinden biri. C. Lattes, G. Muirhead, G. Occhialini ve C. F. Powell tarafından 1947'de çekilmiştir. Bir piyon A noktasında durup, bir müyon fırlatarak bozunmuştur. Bu da, her ikisi de kozmik ışınlar içinde bulunan piyonlarla müyonlar arasındaki ilintiyi tanıtlamaktadır. (C. F. Powell'ın izniyle.)

Fowler'a [Rutherford'un büyük oğlu] küçük bir bozunum fotoğrafı gösterildi. Bu fotoğrafta, 200 m_e kütlesine sahip bir parçacık belirgin bir iz bırakarak eriminin sonuna ulaşmış, bu noktada da bozunuma yol açmıştı. Gözlemlenen izlerin ancak iki açıklaması yapılabilirdi. Ya parçacık, apayrı bir bozunumun oluştuğu bir noktada tümüyle raslantısal olarak durmuştu; ya da izler ve olaylar dizi birbiriyle bağıntılıydı:-Daha küçük kütleli parçacık, mezon, eriminin sonuna ulaşmış ve burada sıfır ya da çok küçük bir devinim enerjisiyle "durarak", çekirdek bozunumuna yol açmıştı.

Birkaç gün önce de, yeni eriyikle benzer deneyler yapmakta olan Londra İmparatorluk Koleji'nden D. Perkins, çok yakın benzerlikler gösteren bir "olay" bulmuştu. Bu iki benzer yapıdaki "olayın" gözlemi, bağıntısız izlerin yan yana gelmesinde şans olasılığını tümüyle dışarıda bırakıyordu. Göründüğü kadarıyla, eriyik içindeki bir atom tarafından yakalanmış bir eksili mezonun yol açtığı sonuçlar ve bu arada bozunumun ortaya çıktığı kesinlikle gözleniyordu.

Gözlemciler mezon izlerini ayırt etmeyi kısa sürede öğrendiler ve erimlerinin sonunda yaratılan benzer bozunumların daha birçok örneğini buldular. Gerçektende gözlemcilerin canlı ilgileri çalışmanın yürütülebilmesi açısından vaz geçilmez önemdeydi, buldukları olayların yorumunu yapmaları ve yaptıklarının işin önemini kavramalarını sağlamak için de epeyce çaba harcanması gerekmişti. [Seminario matematico e fisico di Milano, Simposio in Onore di G. Occialini, Milan, 1959, s. 148]

Powell - Occhialini grubu, Yukawa öntezince gerekli görüldüğü üzere çekirdeği parçalayan bir mezonu böylelikle bulmuşlardı. İzler üzerinde dikkatlice yapılan bir irdeleme, mezonların 139 MeV/c^2 kütlesine sahip olduklarını açığa çıkarmıştı. Gelgelelim başka izler mezonların yaklaşık 106 MeV/c^2' lik parçacıklara, bazen de yüksüz ve kütlesi sıfıra çok yakın parçacıklara, olasılıkla nötrinolara da bozunduğunu gösteriyordu.

106 MeV/c^2' lik parçacıklar bir elektron ve birden daha çok sayıda (tahminen de iki) nötrinoya bozunur. 106 MeV/c^2 parçacıklarını mezotron olarak tanımlamak kolaydır, ama 139 MeV/c^2 parçacığı, durduğunda, serbest bozunma yerine şiddetli çekirdek parçalanmalarına yol açtığından Yukawa'nın öngördüğü mezon olarak tanımlanır. Bugün, mezotronlara müyon ve Yukawa tipi parçacıklara *piyon* denmektedir (Resim 12.3) Bu adlandırmayı biz de kullanacağız.

Açıkça anlaşılsın diye, piyonu π ve müyonu da μ harfiyle göstererek piyon ve müyon bozunumlarının simgesel bağıntılarını göstereceğim: eksili piyon π 'yi ele alacağız; artılısi için olan tepkime ise benzer biçimde yazılabilir.

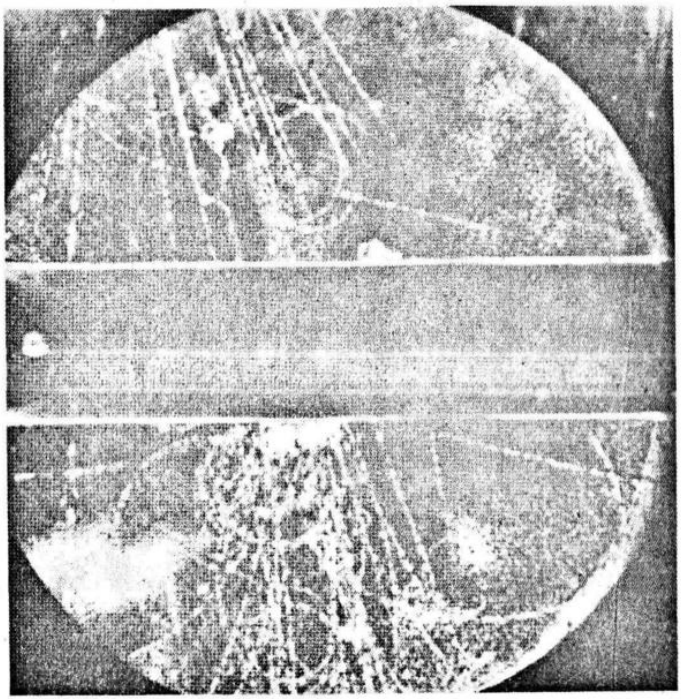
$$\pi^- \rightarrow \mu^- + \tilde{\nu}$$
$$\quad\quad \llcorner\!\!\_\; e + \nu + \tilde{\nu}$$

Daha önce de değinildiği üzere, artılı ve eksili piyonların her ikisi de şiddetli çekirdeksel tepkimlere yol açabilir. Bunun sadece fotoğraf levhalarından ve bir mikroskop yardımıyla okunabilir olması çok ilginçtir. Söz konusu teknik, eriyik kalınlığı arttırılarak, daha uygun banyo yöntemleri bulunarak ve ışığa duyarlı olanların yanısıra başka özdekler de eriyiğe katılarak zamanla daha da geliştirilmiştir. Sonuçta, geliştirilen teknik yardımıyla hız, kütle, yük ve iz bırakan parçacıkların başka özelliklerini ölçmek mümkün olmuştur. Bir ara bu teknik, ögesel parçacık araştırmalarına egemen olmuştu; halen bile, bazı özel durumlara uygulanıp yararlı olmaktaysa da, çoktan beridir yerini kabarcık odası ve diğer yöntemlere bırakmıştır.

Yukarıda sözünü ettiğimiz buluşlar, araştırmalarda aynı tekniği kullanmak için büyük bir istek uyandırmıştı. Teknik çok ucuzdu ama günlerini mikroskoptan bakmak, iz aramak ve onları ölçmekle geçirmeye razı (hemen her zaman da genç kadınlardan oluşan) bir tarayacılar ordusu gerektiriyordu. Bu iş, savaştan yeni çıkmış Avrupalı uluslar ve özellikle de savaş yıkımları ve işsizlikle uğraşan İtalya için biçilmiş kaftandı. Böylece İtalya, bu tür araştırmalar için hızla merkez haline geliverdi. İtalya'da parçacık fiziğine öncelik verilmesinin nedenlerinden biri budur.

Yeni Parçacıkların Soykütüğü

Müyonlar ve piyonlar, kozmik ışınların içinde bulunan biricik parçacıklar değildir. 1946

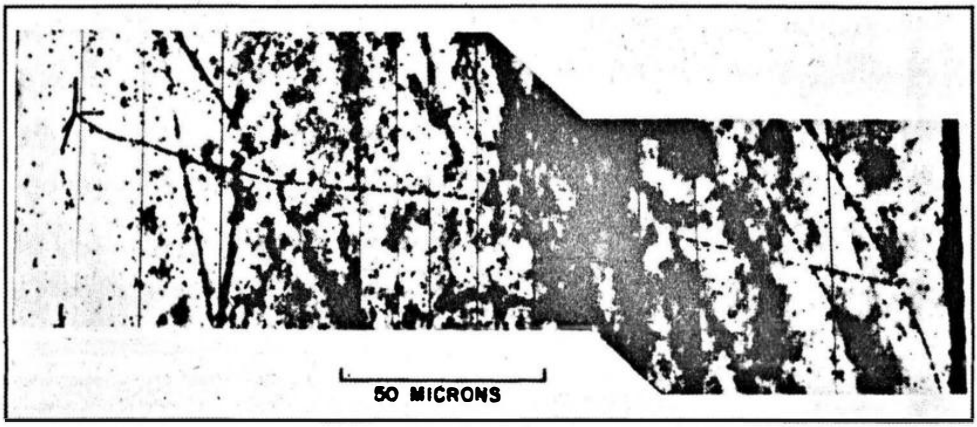


Resim 12.4 G. D. Rochester ve C. C. Butler'ın çektiği bir sis odası fotoğrafında kozmik ışınlarla gelen ilk V parçacıkları görünmektedir. Aynı türden bir fotoğraf yaklaşık iki yıl boyunca yeniden resim çekilememiştir. V parçacığına bugün K0 denmektedir. [Kaynak; *Nature 160*, 885 (1947).]

yılında G. D. Rochester ve C. C. Butler Manchester'da sis odası kullanarak bir çok kozmik ışın fotoğrafı çekmişler ve birinde V harfi biçiminde bir iz bulmuşlardı (Resim 12.4). Bu izler sadece 494 MeV / c^2 lik kütleye sahip bir parçacığın uçuş sırasında iki tane piyona bozunduğu gerçeğiyle açıklanabilirdi. Yaklaşık bir yıllık bir süre içinde olayın bir benzerine raslanmadı, ama yorum öylesine açıktı ki, yeni bir tür parçacığın daha varlığına hemen inanıldı ve izinin biçiminden ötürü V diye adlandırıldı. Resim 12.4'deki parçacığa şimdi K^0 denmektedir.

Fotoğraf eriyikleri, piyon ve müyonlardan başka parçacıkların da varlığını açığa kavuşturmuştur. Örneğin, Bristol grubu, ikisi artılı biri eksili, ya da tersi, üç tane piyona bozunan yeni parçacıklar bulup adlarını, sırasıyla K^+ ve K^- koydular. Yeni yüksek enerji ivmelendiricileri alana girdikçe, yeni parçacıklar listesi de giderek uzuyordu. O zamana dek sadece kozmik ışınlar içinde bulunabilen piyon ve daha pek çok parçacığı yaratmaya yetecek kadar yüksek enerjilere erişilmiştir.

Yeni parçacıklar yaratmaya yeterli enerjiye ulaşan ilk aygıt Berkeley'in 4,5 m'lik siklotronudur (Resim 12.5) 1948'de E. Gardner, (Bristol'de piyonun bulunuşuna katılmış sonra da Bristol'den Berkeley'e geçmiş ve Occhiali'nin Brezilyalı öğrencisi olan) C. G. Lattes ve arkadaşları fotoğraflama yöntemini kullanıp siklotronda üretilmiş piyonları saptadılar. Kısa bir süre sonra da B. Moyer ve öğrencileri, yine Berkeley'de, yüksüz piyon oluşumuna yol açan gama ışınlarını saptadılar. Yüklü piyonlarının yarı ömrü $2,6 \times 10^{-8}$ sn iken yüksüz olanlarınki $0,8 \times 10^{-16}$ saniyedir. Bunun nedeni ise, yüksüz piyonlar elektromanyetik et-



Resim 12. 5 E. Gardner ve C. M. G. Lattes tarafından çekilmiş, Berkeley'deki 4,5 m'lik siklotronda üretilen yapay bir piyonun (eriyik içindeki) ilk fotoğrafı. İlk kez piyonlar ve müyonlar kozmik ışınlarda saptanmamış, ivmelendiricilerde üretilmişti. (Lawrence Berkeley işliği.)

kileşme altında bozunuyorken, yüklülerin, daha zayıf olan Fermi etkileşmesi altına bozunuma uğramasıdır. Yüksüz piyon, bir ivmelendirici yardımıyla keşfedilmiş ilk parçacıktır. Önceki parçacıkların büyük çoğunluğu kozmik ışınların içinde bulunmuştu.

Siklotronda piyon üretimi, kozmik ışın kaynaklarınca asla sağlanamayacak olan piyon demetleri oluşumuna olanak tanımıştı. Zaman ilerledikçe kozmik ışınlar yerfiziği, evrenbilim ve benzeri bilimsel alanlardaki araştırmaların aracı haline geldi ama çok yüksek enerjilere ulaşma dışında ivmelendiricilerle yarışamadıkları için parçacık fiziğindeki önemlerini giderek yitirdiler. Daha ileriki yıllarda ise sinkrotron ve betatron gibi başka ivmelendiriciler elektronları, ya doğrudan doğruya ya da ilkin foton üreterek, mezon yaratmaya yetecek kadar yüksek enerjilere çıkarmayı başardılar.

Enerji konusunda bir başka sıçrama, Brookhaven Ulusal İşliği'ndeki Kozmotron çalışmaya başladığında yaşandı, 1952 de 1.000 MeV'e ve 1953'te de 1GeV'e ulaşıldı. Bu aygıtla, Rochester ve Butler'ın daha önce kozmik ışınlar içinde gözlemiş oldukları V parçacıkları 1953'de üretildi, gerçi o zamandan bu yana durum oldukça karmaşıklaşmıştır. Kozmik ışınların piyon ve müyonlara ek olarak, nükleonlardan daha ağır başka türlerden parçacıklar da içerdiği gözlenmiştir. Bu parçacıklar çeşitli biçimlerde bozunsa da nötron ve protonlar bozunum ürünleri içinde hep yer alır. Bu tür parçacıklara *hiperonlar* denir.

En önemli bozunum türlerinden bazıları şunlardır:

$$\Lambda \rightarrow p + \pi^- \ (1116) \qquad \Sigma^+ \rightarrow p + \pi^0 \ (1189) \qquad \Xi^- \rightarrow \Lambda + \pi^- \ (1321)$$

Açıklık amacıyla kullandığımız çağdaş notasyonda parantez içindeki sayılar MeV $/c^2$ birimi cinsinden kütleyi göstermektedir. Yukarıda yazılı bozunumların daha pek çok çeşidi vardır. Üstelik, parçacıklar farklı yük konumlarında da bulunabilirler.

Hiperyonlara ek olarak kozmik ışınların K parçacıkları da içerdiğinden daha önce sözedilmişti. Piyonlardan daha ağır ama nükleonlardan daha hafifferdir ve çeşitli yollardan bozunurlar; örneğin:

$$\begin{aligned} K^+ &\rightarrow \pi^+ + \pi^0 \quad (494) \\ &\rightarrow \pi^+ + \nu \\ &\rightarrow \pi^+ + \pi^+ + \pi^- \end{aligned}$$

Λ parçacığı önemli paradokslara yol açmıştı. Oldukça kolay yaratılıyor ama çok güç bozunuyordu. Bu olgu, paketçik devinbilimin kolay yaratılan parçacıkların kolay da bozunacaklarını söyleyen bazı genel ilkelerine uymuyordu. Bu anlaşılmazlığı gidermek üzere çeşitli girişimlerde bulunulmuş, ama sonunda doğru açıklama A. Pais ve K. Nishijima tarafından birbirinden bağımsız olarak yapılmıştı. Gözlenen üretim ve bozunum süreçleri, sanıldığı gibi birbirinin tersi değildi, tümüyle farklıydılar ve bu yüzden aralarında zorunlu bir bağlantı da yoktu. L yaratımı sadece bir kaonla bağlantılı olarak ve şu tepkimeye göre ortaya çıkar

$$\pi^- + p \rightarrow \Lambda + K^0$$

Λ bozunumu ise şu denklem tarafından belirlenir $\Lambda \rightarrow p + \pi^-$. Λ yaratımı her zaman bir kaon ile bağlantılı olarak ortaya çıkar, ama bozunum öyle değildir. Bağlantılı üretim süreci yeğin Yukawa tipi etkileşmeyle ortaya çıkar; bozunum süreci ise zayıf Fermi et Bu "acaip" olguyu açıklamak üzere 1953'de M. Gell-Mann ile T. Nakano ve K. Nishima, birbirlerinden bağımsız olarak yeni bir paketçik sayısı ileri sürdüler, adına da, daha iyi bir sözcük olsaydı keşke, *acaiplik* koydular. Acaipliğin öteki devinimsel nicelikler ya da açısal momentum ve belli paketçik numaralarıyla herhangi bir bağının olup olmadığı bilinmiyor, ama bazı şeylere çeki düzen verilmesine ve yukarıda sözü edilenin yanı sıra çeşitli paradoksları çözmeye yaradığı kesindir. Parçacıklara 0, ± 1, ± 2 gibi acaiplik sayıları verilir ve yeğin etkileşmeyle ortaya çıkan parçacık tepkimelerinde sahip olunan toplam acaiplik sayısının değişmediği varsayılır. Bu yolla, deneysel verilerle uyuşacak biçimde belirli tepkimeleri olanaklı ya da olanaksız kılan seçme (=selection) kuralları elde edilir.

Bağlantılı yaratım ve acaiplik olgusu açıkça 1954'de Cozmotron bağlantılı parçacıklar üretmeye yetecek enerji düzeyine erişir erişmez tanıtlanmıştı. W. B. Fowler, R. P. Shutt, A. M. Thordike ve W. L. Whittemore bu sonuca, sürekli çalıştırılan bir yayılım sis odası kullanılarak ulaşmışlardı. Çeşitli başka yöntemler kullanan başka fizikçiler de onları izlemişti.

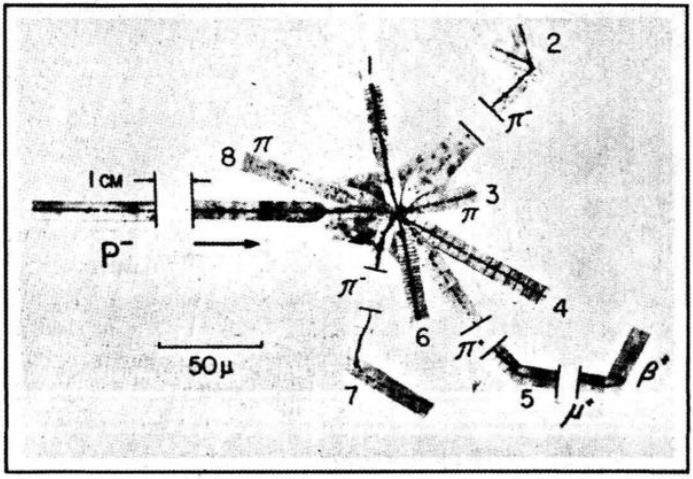
Murray Gell-Mann (Resim 12.6) şimdiki kuşağın kuramsal fizikteki aslarından birisidir.

Resim 12. 6 Murray Gell-Mann 1961'de. Parçacık fiziğine birçok yeni görüşün girmesine neden olmuş, önde gelen büyük kuramcılardandır. (Fotoğraf; E. Segrè.)

New York'da bir profesörün oğlu olarak 1929'da doğmuş, Yale Üniversitesi'nden mezun olup doktorasını yirmi iki yaşındayken Massachusetts Institute of Technology'den almıştır. Sonra Şikago'ya gitmiş ve orada kuşağının daha birçok başka kuramcısı gibi, Fermi'nin etkisi altına girmiştir. Şimdi Kalifornia Teknoloji Enstitüsü'nde profesördür, ama çok sık olarak başka ülkelere geziye çıkmaktadır. Ögesel parçacıklar alanındaki önemli kuramsal buluşlarda Gell-Mann, hep, başka fizikçilerle eş zamanlı ama onlardan bağımsız çalışmasıyla belirleyici olmuştur: Nakano ve Nishijima ile acaiplik konusunda, Y. Ne'eman ile sekizil (=eightfold) yol konusunda ve G. Zweig ile quark kavramı konusunda. Bu yüzden, çevredeki varlığı, kuramcı meslekdaşları ve arkadaşlarında sürekli olarak niyetlerinin anlaşılacağı korkusu uyandırabilmektedir. Aynı zamanda, Gell-Mann, (başka kuramcılarla ortak bir özelliği olan) fazla beyin gücünü, Swahili ve daha birçok dili öğrenerek, biyolojiyle at başı giderek, ekoloji üzerine araştırmalar yaparak ve daha pek çok konuda hükümete danışmanlık yaparak meşgul etmektedir.

Mezon üretmeye yeterlikli bir zamandaş siklotron 1951'de Şikago'da çalıştırılmaya başlamıştı. Fermi, tamamlanışını hızlandırmak için üzerinde kendisi de çalışmış ve bitirilişini sabırsızlıkla beklemişti. Uzun süredir dikkatlice hazırlandığı deneysel çalışmaya, artık geri dönebilirdi. Çabalarının semeresini gördü; ölümünden az önce hiç beklenmedik ve yepyeni bir olgu keşfetti. Artılı piyonların protonlarla olan çarpışma ara kesiti çok yüksek bir doruk değeri (=maximum) gösteriyordu. Bu olgu, bazan seselim (Ç.N. 92) diye ad-

(Ç.N. 92) Bknz. s. 219



Resim 12.7 Bir çekirdeksel eriyik içinde karşıt protonun yokoluşu. Bir karşıt proton (p^-), bir başka çekirdek tarafından durdurulup yok edilir. Çarpışma noktasından çıkan piyon ve başka parçacıklar çevreye yayılır. Görünen parçacıkların toplam enerjisi karşıt protonun dinginlik enerjisinden daha küçüktür, bu da bir başka parçacığın yokolduğunu tanıtlamaktadır. (Lawrence Berkeley İşliği.)

landırılan yarı dengeli bileşik parçacıkların, ya da basitçe parçacıkların biçimlenmesinin kesin bir göstergesiydi. Fermi'nin bu ilk buluşundan sonra daha yüzlercesi fark edildi. Konu üzerindeki çalışmalar, etkin bir araştırma alanıdır.

Karşıt Çekirdekler

Çok geçmeden, uzun yıllar sürmüş bir soruya kesin yanıt verme olasılığı doğdu. Okuyucunun anımsayacağı üzere, Dirac pozitronun varlığını öngörmüş sonra da bu parçacık Anderson tarafından bulunmuştu. Dirac'ın kuramı protonu da kapsayacak biçimde genişletilirse, protonla aynı kütleli ama eşit ve ters yüklü bir protonun var olduğu da umulabilirdi. Aslında, örneğin Stern'in bulduğu gibi protonun manyetik momenti Dirac kuramına dayalı olarak yapılmış alçakgönüllü tahminlerden çok farklı bir değerde çıkma sının açıkça gösterdiği üzere, böylesi yalın dışuyarlamalardan (=extrapolation) kaçınmak gerekir. Dolayısıyla, karşıt protonun var olup olmadığına evet ya da hayır diye açık bir yanıt vermek çok önemliydi. Kozmik ışınlar üzerine yapılan gözlemler, açık yanıtı sağlayamadıysa da bazı işaretler vermişti.

Berkeley'deki Bevatron 1955'de, yaklaşık 2 GeV'lik kütle merkezi enerjisinine karşılık gelen 6 GeV'e dek ulaşmıştı. Bu enerji değeri, eğer karşıt protonlar gerçekten vardıysa, bir proton-karşıt proton çifti oluşturmanın eşiğiydi. O. Chamberlain, C. Wiegand, T. Ypsi-

lantis ve ben, karşıt protonun varlığını inandırıcı bir biçimde tanıtladık. Böylece karşıt özdeğin (=antimatter), hatta tümüyle bir karşıt dünyanın var olma olasılığından emin olunabilirdi. Ne ki, böylesi karşıt dünyaların var olup olmadıklarını henüz bilmiyoruz.

Parçacıklarla karşıt parçacıklar arasındaki bakışım, fiziğin yeni gerçekliklerinden biridir. Her parçacık için eşit kütleli ve ters elektrik yüklü, eşit ve ters acaiplikli, eşit bükümlü, eşit ve ters manyetik momentli bir karşıt parçacık vardır. Kısaca, tüm özellikler ya aynı ya da terstir. Çekirdek içindeki her proton ve nötronu bir karşıt proton ve karşıt nötronla değiştirecek olursak bir karşıt çekirdek elde ederiz. Şimdi ona karşıt elektronla r - yani, pozitronlar - giydirebilir ve bir karşıt atom yapabiliriz. Karşıt atomlarla karşıt moleküller ve böylece giderek tümüyle karşıt dünyalar kurabiliriz. Karşıt dünyada yaşayan bir insan için herşey, şimdi bize olduğu gibi tümüyle benzer biçimde görünüp davranacaktır. Bir dünya ve karşıt dünya arasında hiçbir içsel ayrım yoktur ve bu nedenle astronomik gözlemler bir yıldızın özdekten mi yoksa karşıt özdekten mi yapıldığını bize söyleyememektedir. Gelgelelim özdek ile karşıt özdek karşılaştığında (Resim 12.7), birbirini yok eder ve son derece kısa bir zaman dilimi içinde tüm enerjileri nötrinolara, karşıt nötrinolara ve yokoluş noktasından ışık hızıyla uzaklaşan gama ışınlarına dönüşür.

Eşdeğerliğin Çöküşü

Karşıt protonun az çok beklenen keşfinin tersine, fiziğin birçok alanında geçerli olduğundan kuşku duyulmayan bir inancın yanlışlığı, aynı zamanlarda kanıtlanmıştı. Bir deney yaptığınız sırada ona doğrudan ya da bir aynadan baktığınızda, deneye doğrudan mı yoksa aynadan mı baktığınızı söyleyebilmenin hiçbir olanağı yoktur. Bir erkeğe doğrudan ya da aynadan bakarken, ceket düğmelerinin doğru mu yoksa ters mi iliklendiği söyleyebilirsiniz. Benzer biçimde, bir vidanın yivlerinin de sağa mı yoksa sola mı bükük olduğu da bilebilirsiniz. Ama bunlar sıradan uzlaşımlardır (=conventions), doğa yasaları değil. Hatta kalbi sağda olan bir insan bile pek ala yaşıyor olabilir. Bu noktada, bazı elektrik yasalarının sağ el ve sol ellik (=left-handedness) ayrımı taşıdığını düşünebilirsiniz, ama dikkatli bir irdeleme durumun hiç de böyle olmadığını gösterecektir, söz konusu ayrım, elektrik yükünün işareti hakkındaki uzlaşımla yakından bağıntılıdır. Tüm yeğin ve elektromanyetik etkileşmeler yansıma bakışımına tamamiyle uyar. Herhangi bir olgunun hem kendisinin hem de aynadaki yansımasın ın her ikisi birden olası ise, ya da her ikisi birden olası değil ise *eşdeğerlik korunumu* 'ndan (=conservation of parity) söz edilebilir.

Birçok durumda geçerli olduğu görülen bir düzenlilik bulunduğunda, bu hemen başka ve henüz sınanmamış koşullara genelleştirilme ve hatta bazen de "ilke" yapılma eğilimi uyandırır. Bazen de durum, Einstein'dan önce uzay ve zaman kavramlarıyla ilintili olarak görüldüğü üzere, gereksiz yere allanıp pullanır. Aynı şey, eşdeğerlik korunum ilkesinin de başına gelmiş ve bu ilkenin geçersizliği deneylerle kanıtlanınca Pauli gibi fizikçiler derinden sarsılmıştı.

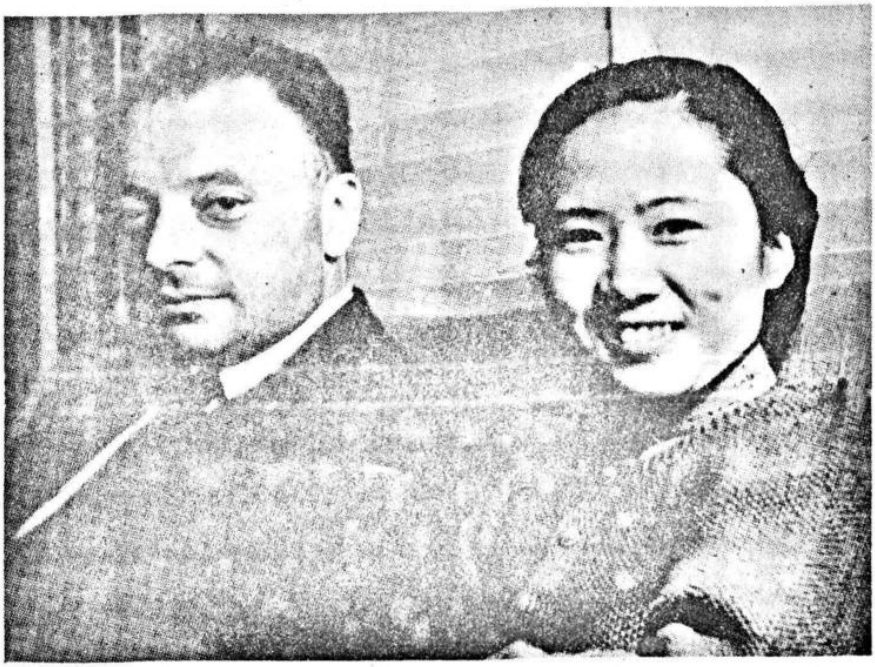
Eşdeğerliğin korunmadığının keşfine yol açan olaylar, 1955'de, o zamanlar θ ve π olarak adlandırılan bazı K parçacıklarının bozunmalarının gözlenmesiyle başlamıştı. Deneysel ölçümlere göre, bu iki parçacığın kütleleri aynı olmasına karşın bozunum yolları birbirinden farklıydı. Doğal olarak, bunların farklı bozunum biçimlerine sahip aynı parçacıklar olduğu varsayılmıştı. Bunda alışılmadık hiçbir şey yoktu. Curie ve Rutherford'un zamanından beri biliniyor ve insanların farklı hastalıklardan ölmeleri gibi, ışımaetkin atomların da farklı biçimlerde bozunabileceği düşünülüyordu - örneğin, beta ya da alfa parçacıkları yayınarak. Ama ortada, K bozunmasına ilişkin ilginç bir gerçek de vardı., görüldüğü kadarıyla eşdeğerliğin korunmasına uymuyorlardı. Eşdeğerliğin korunumu, bir parçacığın bazen iki bazen de üç piyon yayınımı ile bozunmasını önlüyordu; gelgelelim θ ve π için olan da tıpatıp böyle görünüyordu. Bu ciddi ikilem hiç umulmadık bir biçimde Çinli fizikçiler Tsung-Dao Lee ve Chen Ning Yang tarafından çözümlendi. Fermi'nin 1933 yılında bulduğu ve beta bozunumundan sorumlu olan zayıf etkileşmenin eşdeğerliği koruduğuna ilişkin hiçbir doğrudan kanıt bulunmadığını gösterdiler. Zayıf etkileşme eşdeğerliği korumuyorsa, ortada ikilem de yok demekti. Ayrıca, eşdeğerliğin korunmadığı varsayımını doğrulayabilecek deneyler olduğunu da gösterdiler. Durum, İmparator'un giysisini andırıyordu. İki dolandırıcı, kendilerine verilen altın ipliklerle İmparator için, sadece zeki olanların görebileceğini söyledikleri bir giysi dokuyacaklardır. Kimse giysiyi görmez, ama bunu kabul etmeye yanaşan da çıkmaz, herkes utanır da giysinin güzelliğini öve öve bitiremez. Derken, resmi geçitteki bir çocuğun haykırmasıyla gerçek açığa çıkar: "İmparator çıplak!..."

Lee ve Yang'ın makalelerini basmalarının hemen arkasından biri Kolombiya Üniversitesi'nden, öteki de Washington D.C.'deki National Bureau of Standards'dan bir başka Çinli fizikçi olan Chien-Shiung'un (Resim 12.8) önderliğindeki iki ayrı grup, birbirinden bağımsız olarak, zayıf etkileşmeler için eşdeğerlik korunumunun masal olduğunu tanıtladılar.

Wu'nun grubu, ışımaetkin kobalt çekirdeklerinin yaydığı elektronların bükümlerinin çekirdeğin yönelimine ters olmaktan çok koşut olma eğilimi taşıdığını tanıtladı. Eşdeğerlik eğer korunuyor olsaydı, ters ve koşut yönlerin de eşit olasılıkta ortaya çıkması gerekirdi. Elektromanyetikten bir örnekle, gama ışını yayımı için de durum aynıydı, ama zayıf etkileşme yüzünden beta bozunumunda eşdeğerlik korunmuyordu.

Bu Çinli fizikçiler de kimdi? Chien-Shiung Wu, benim Berkeley'deki ilk öğrencimdi, memleketi Şanghay'dan gelmişti. Çalışma isteği ve çalışmaya bağlılığı Marie Curie'yi anımsatırdı, ama bu dünyayı da ihmal etmezdi, daha zarif daha nüktedandı. Bilimsel araştırmalarının büyük bir bölümünü, önemli birçok buluş yaptığı beta bozunumu konusuna ayırmıştı. Bir başka Çinli fizikçi Luke Yuan'la evli, genç bir fizikçi Vincent'in de annesiydi.

Chen Ning Yang, Anwei'de, Hofei'de 1922'de doğmuştu, beş kardeşin en büyüğüydü. Babası, Pekin yakınlarındaki Tsinghua Üniversitesi'nde matematik profesörüydü. Yang ve arkadaşı Tsung-Dao Lee'nin ikisi de Kunming'deki Ulusal Güneybatı Üniversitesi'nde öğrenim görmüşlerdi. Savaştan sonra Yang, Birleşik Devletler'e Fermi'nin öğrencisi olma arzusuyla gelmişti, ama Fermi'nin nerede olduğunu bilmiyordu. Kolombiya Üniversitesi'ne

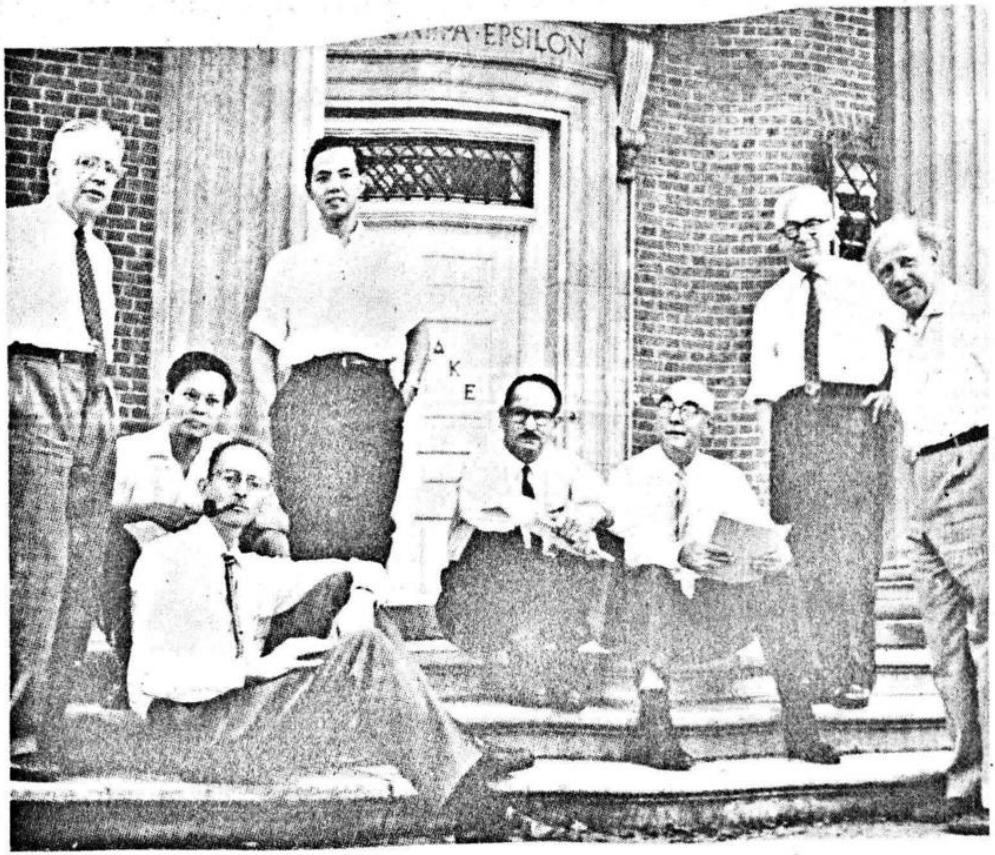


Resim 12.8 Chien Shiung Wu (sağda) ve W. Pauli. Zayıf etkileşmeler konusunda temel araştırmalar yapan Wu, nötrino öntezinin mucidi ile birlikte. Nötrino, zayıf etkileşmelerde önemli bir rol oynamaktadır.

gittiğinde, Fermi'nin Şikago'ya geçtiği öğrenmiş; o da oraya giderek arzusuna kavuşmuştu. İlkin, fazla başarı sağlayamadığı deneysel araştırma yapmış, ama bir süre sonra kuramsal yeteneği boy göstermişti. 1946'da doktora tezini Teller'in danışmanlığında yazmış ve sonra da Fermi ile çalışmaya başlamıştı.

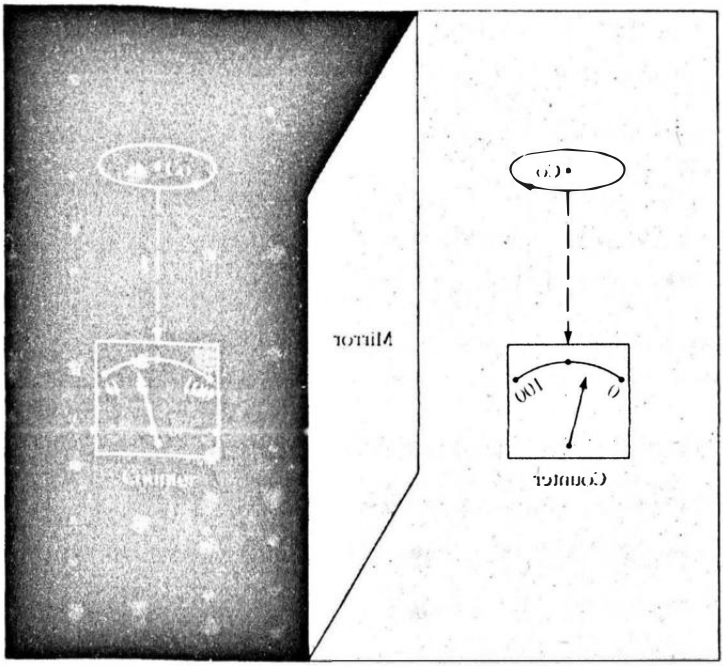
Lee, 1926'da Şanghay'da doğmuş ve orada öğrenime başlamıştı. Üniversitede Yang ile tanışmıştı. Hocası Ta-You Wu'nun Şikago için bir araştırma bursu bulmasıyla, doktorasını orada, Fermi ile yaptığı çalışmalar sonucunda almıştı. Doktoralarını aldıktan sonra Lee ve Yang ikilisi, çeşitli büyük Amerikan üniversitelerinde görev yapmış, yıllarca birlikte çalışmışlardı. Eşdeğerliğin korunmaması üzerine yazdıkları tarihsel makalelerinden başka, istatistiksel devinbilimden alan kuramına (=field theory) dek çok çeşitli konularda önemli sonuçlar elde etmişlerdi (Resim 12.9). Şimdi Yang, New York Stonybrook'daki Devlet Üniversitesi'nde, T. D. Lee ise Colombiya Üniversitesi'ndedir.

Bu Çinli fizikçiler üçlüsü, Çin'in devrimsel çalkanuların üstesinden gelip, ilk Avrupalı gezginlerin hayretle tanık oldukları üzere, uygarlığın önderlerinden biri olma rolünü yeniden üstlendiğinde, bu büyük ülkenin fiziğe gelecekte neler kazandırabileceğinin canlı tanıklarıydı.



Resim 12.9 Nobel Ödüllü sekiz fizikçi, 1960'da Rochester N.Y.'daki Rochester Toplantısı'nda. Soldan sağa, E. Segrè, C. N. Yang, O. Chamberlain, T. D. Lee, E. McMillan, C. D. Anderson, I. I. Rabi, W. Heisenberg. Bu tür toplantılar parçacık fiziği için önemli olaylardı. Batılı ve Sovyet fizikçiler arasında bilimsel alışveriş için ilk fırsatlardandı. (Fotoüraf; L. Cuzer.)

Başka iki grup da eşdeğerliğin korunmadığını müyon bozunumunda gözlemişlerdi _A. M. Friedman ve V. Telegdi Şikago'da, fotoğraf eriyikleri kullanarak; R. L. Garwin, L. M. Lederman ve M. Weinrich de Kolombiya'da elektronik araçlar kullanarak. Yukarıda sözü edilen özgün buluşların hemen ardından, birçok bilimci, eşdeğerliğin korunmayışıyla açığa çıkan seçenekleri araştırmak için kolları sıvamış ve çok kısa bir sürede bu konu üzerine basılan makale sayısı yüzleri geçmişti. Hemen hemen aynı hızlılıkta, önerilen seçenekler deneysel sonuçlarla sınanarak bazıları elenmiş ve böylece beta bozunumuna doyurucu ölçüde arılık kazandırılmıştır.



Resim 12.10
Co60'ın bozunumu ve aynadaki görüntüsü. [Kaynak; C. N. Yang, Ögesel Parçacıklar, *Atom Fiziğinde Bazı Buluşların Kısa Tarihi* (telif hakları © 1962 Princeton Üniversitesi Yayınları), Res. 36, s. 60. Princeton Üniversitesi Yayınları'nın izni ile kullanılmıştır.]

Yukarıda değinildiği üzere, eşdeğerliğin ortadan kalkması herhangi bir olguyu, aynadaki görüntüsünden ayırt edebilmemize olanak sağlar (Resim 12.10) Ne var ki, bir başka sürpriz daha sırada bekliyordu, bakışımın yeniden kuruluşu, ama farklı bir düzeyde. Bir olayın aynadaki görüntüsü, o deneyi karşıt özdekle yapsaydık görecek olduğumuzla aynıdır. Ayna yansımasıyla, gerçek bir durumdan P dönüşümü diye adlandıracağımız bir duruma geçeriz. Her parçağı karşıt parçacığıyla değiştirirsek C dönüşümü elde ederiz. Bu iki dönüşümü de art arda yaparsak bir PC dönüşümü elde ederiz; ilkin bir parçacığı karşıt parçacığıyla yer değiştirip ardından da ayna yansıması yaparak elde ettiğimiz CP dönüşümü de bize aynı sonucu verir. Gerçek bir durumdan başlamışsak, CP ya da PC dönüşümü bizi yine gerçek bir duruma getirir.

C ve P dönüşümlerine ek olarak, tüm hızların tersine çevrildiği T dönüşümünü de ele alabiliriz. Sonuçtaki olay, deneyin filmini tersten seyretmek gibidir. Bu dönüşümlerin üçünü de - C, P, ve T - yaparak, gerçek bir durumdan yine gerçek ya da olası bir durum elde ederiz. Bu gerçek, onu, görelilik gibi çok genel bazı varsayımlarla kanıtlayabilen kuramsal fizikçiler için son derece değerli ve önemlidir. Eşdeğerliğin korunmayışı üzerine yapılan gözlemler CP'nin kendiliğinden geçerli bir dönüşüm olduğunu göstermiştir, dolayısıyla, eğer CPT* geçerliyse, T de kendiliğinden geçerli olmalıdır.

Öykü burada bitseydi ne iyi olacaktı, ama karmaşa biraz daha süreceğe benziyor.

1964'de J. H. Christenson, R. Turlay, V. L. Fitch ve J. W. Cronin, CP bakışımının geçersiz kaldığı yüksüz K mezonlarının bozunumunu buldular. Küçük ama su götürmez kesinlikte bir etkidir. Öte yandan CPT değişmezliği, T'nin ortadan kalkmasının CP tarafından dengelenmesine karşılık geliyor gibi görünmektedir. Burada, bilinenlerin sınırına gelmiş olmaktayız.

Eşdeğerlilik korunumunun çöküşü, belki de, savaş sonrası döneminin en büyük kuramsal buluşudur. Yetersiz sınamalarla ilkeye dönüştürülmüş bir önyargıyı yıkmıştır.

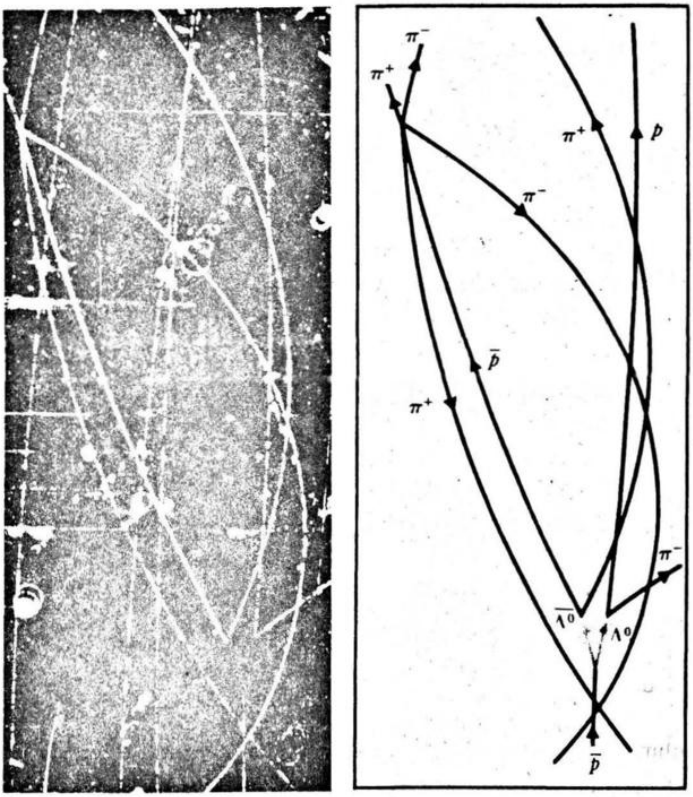
Bir dip notu olarak, Amerikalı fizikçi R. T. Cox'un eşdeğerlik korunmazlığını 1928 gibi oldukça erken bir tarihte gözlemiş olabileceğini belirtmeme izin verin. Çifte saçılım deneylerinde elektron bozunumunu kullanarak, başlangıçtaki elektronların kutuplandığını gösteren belirgin bakışımsızlıklar gözlemişti. Bu olgu, eşdeğerliğin korunumuyla çatışıyor olmalıydı, ama Cox, eşdeğerliğin korunumuna öylesine inanmıştı ki, deneyini kutuplanmayan ısıliyonsal (=thermoionic) elektronlarla tekrarladı. Isıliyonsal elektronlar ile etki ortadan kalkar, çünkü kutuplanma oluşmaz. Gelgelelim, Cox, elde ettiği sonuçları deneyin ilk bölümünün herhangi bir nedenle hatalı olduğu biçiminde yorumlamıştı. Bu da, bir araştırmacının, karşılaştığı şaşırtıcı sonuca düşünsel boyutta hazırlıklı olmayışı nedeniyle bir buluş kaçırdığının bir başka örneğiydi.

Kabarcık Odası

Fermi'nin proton-piyon düzenindeki ilk seselimi bulduğundan söz etmiştik, ama hiç kimse, böylesi düzenlerin tümünde pek çok seselimler bulanacağını düşün(e)memişti. Kabarcık odası tekniğinin bulunuşu, bent kapaklarını açmıştı. İlkin proton, karşıt proton yokoluşundaki ilk seselimler bulundu (Resim 12.11), sonra da öteki etkileşim türlerinde düzünelercesi, daha sonra ise yüzlercesi. Seselimler avı, fiziğin 1960'lı yıllardaki sıcak konularından biriydi, giderek daha da ısınmaktadır.

Önceleri eriyik yönteminin parçacık fiziğinde üstünlük kurması gibi, bu yeni teknik, yani kabarcık odası da bir süre için seselim araştırmalarında üstünlük kurmuştu. Kabarcık odası, yüklü parçacıkların yolunu açığa vuran bir araçtır. 1910 gibi erken bir tarihte, C. T. R. Wilson'un, doygun buhar içinde ilerleyen yüklü parçacıkların yolu üzerinde yoğuşma yaratarak izlerini görünür kıldığından önceki sayfalarımızda söz etmiştik. Odanın genişlemesi, buharda aşırı doygunluk yaratır ve sıvı yüklü parçacıkların yolu üzerindeki iyonlar üstünde yoğuşur. Güçlü bir yan aydınlatma, sisi görünür kılar, tıpkı yüksekten uçan jetlerin ardında bıraktığı iz gibi. Wilson'un kabarcık odasının pek şaşaalı bir geçmişi vardır; ilk yapay bozunumların izleri, nötronların etkisiyle devinime itilen protonların geri tepkisi; pozitron ve sağanaklar gibi daha birçok olgunun açığa çıkmasına yardımcı olmuştur. Yine de düşük yoğunlukta çalışması, başka bir deyimle çok az özdek içermesi, zayıf yönüdür.

1952'de Donald A. Glaser (d. 1926) gaz yerine bir sıvı kullanmayı, böylelikle de yoğunluğu bin kat artırmayı düşündü. Tam kaynama sıcaklığındaki bir sıvı kullanıp, sıvının



Resim 12.11 Hidrojenle doldurulnuş bir kabarcık odasında çekilmiş yüksüz lambda, karşıt lambda parçacık çiftinin yaratılış ve yok oluşunun fotoğrafı. Sağdaki şematik çizimde görüldüğü üzere Λ bir protona (p) ve bir eksili piyona (π^-) bozunur. Karşıt lambda (solda) ise bir karşıt protona ($\bar{p}$) ve bir artılı piyona (π^+) bozunur. Sıvı hidrojen içindeki bir protona çarparak, karşıt proton dört piyona yokolur. (Lawrence Berkeley İşliği.)

basıncını aniden düşürerek sıvıyı kaynama derecesinin üzerine çıkarttı ve böylelikle iyonların yolu üzerinde oluşan kabarcıkları gözledi. Glaser, tekniğini, etil eterle dolu küçük odacıklarla başlayıp giderek geliştirdi. İlk izleri gözledikten sonra değişik sıvılar denedi. En önemlileri, yalın amaçlar için yararlandığı sıvı hidrojenle, ağıratomlar için kullandığı zenondu (=xenon). Glaser, bu alanda özgün bir yol açtıktan sonra yaşambilim üzerine yaptığı çalışmalara geri döndü. Kabarcık odası, daha sonraları başka fizikçilerce büyüklük ve olanaklar açısından daha da geliştirildi.

L. W. Alvarez (d. 1911), Lawrence'ın etkisi altında yetişmiş, dolayısıyla büyük de-

neysel maceralara eğilim gösteren fizikçilerden birisiydi. Büyük hayallerin adamıydı, Şikago'da öğretmeni A. H. Compton ile birlikte kozmik ışımalar alanında önemli sonuçlar elde etmiş ama hemen sonra Berkeley'e geçip siklotron üzerinde çalışmayı yeğlemişti. Savaştan sonra Alvarez, Lawrence'ın da özendirmesiyle MİT'e gidip, zayıf görüş koşulları altında uçakların radar yardımıyla yere inmesi için bir düzenek icat etmişti. MİT'den sonra Los Alamos'a geçmiş ve sonraları, Hiroşima'ya bombayı atan uçağın havalanması konusunda epeyce ısrarlı davranmıştı. Alvarez, ileride tarihsel nitelik kazanacağını düşündüğü olaylarda yer almak için güçlü bir istek duyardı. Önemli insanlarla tanışmaktan hoşlanır, büyük fizikçiler için de tapınırcasına büyük bir saygı ve sevgi beslerdi. Savaştan sonra Berkeley'e döndüğünde, bir çizgisel ivmelenderici tasarlayıp yönetti ve Livermore serüveninde yerini aldı.

Glaser, kabarcık odasını icat ettiğinde, aygıtın sağladığı geniş olanakları fark eden Alvarez, eşi görülmemiş boyutlarda içi sıvı hidrojenle dolu bir tane yapmaya karar vermişti. Bu büyük bir teknik serüvendi - öyle ki, gerçekleşebileceği hakkında Lawrence bile kuşku duyuyordu - ama Alvarez, çeşitli alanlardan büyük bir teknik uzmanlar grubu oluşturmuş, Lawrence geleneğine uyarak onları bir güzel heyacanlandırmış ve büyüklüğü 2 metreye, büyük bir banyo küvetinkine erişene dek git gide artan bir dizi kabarcık odası yapmaya koyulmuştu. Günümüzdeki en büyük kabarcık odaları birkaç metre çapında olup on binlerce litre sıvı hidrojen içermektedir. Alaverez'inkin de, "sadece" 500 litre vardı.

Bu tür aygıtlar hem çok karmaşık hem de çok pahalıdır; maliyeti bir ivmelendiricininki kadardır. Bununla birlikte, ivmelendiricilerin işletilmesi için elzemdir ve parçacık fiziği araştırmalarında en etkin araçlardan biridir. Gücünden tümüyle yararlanabilmek için, milyonlarca resim yarı otomatik yöntemlerle hızla taranmalıdır. Tarayıcı araçların çıktıları bilgisayara yüklenir ve irdelenir. Bilgisayarları bu amaçla programlamak, düzeneği kurmanın en güç yönüdür. Süreci kavramak için, Blackett'in azot bozunumunu içeren sis odası resimlerinin stereoskopik irdelenmesini kendisinin doğrudan yapışıyla çağdaş bir kabarcık odasının çalışmasını karşılaştırmak gerekir. Kabarcık odasının bilgisayarla bütünleştirilmesi verimli olmuştur, büyük işliklerde elde edilen filmler artık tüm dünyadaki, onları yeniden yeniden inceleyecek, madenden cevheri çıkaracak olan kullanıcılara dağıtılmaktadır.

Vahşilikteki Düzen

Kabarcık odaları, fotoğraf eriyikleri ve daha çağdaş kıvılcım odaları gibi öteki yöntemler, ögesel parçacıklar hakkında deneysel bilgi toplamak üzere birbirine hünerlice eklenip bağlanmaktadır.

Elde edilen veriler atomun enerji düzeylerini andırmaktadır, bunların sınıflandırılıp düzenlenmesi ise parçacık fiziği için apaçık bir görevdir. Görev açıktır ama, onu yerine getirmenin araçları o denli açık değildir. Fermi ile Yang 1949'da iki temel bileşene; (karşıt

parçacıklarıyla birlikte) proton ve nötrona dayalı karma bir model denemişlerdi. Acaipliğin keşfiyle üç nesnenin gerekliği ortaya çıktı. S. Sakata ve öğrencileri (M. İkeda, S. Ogawa ve Y. Ohnuki) 1955'den başlayarak nötron, proton ve Λ ile bunların karşıt parcacıklarına dayalı bir modeli matematiksel açılımıyla birlikte geliştirdiler. Ne var ki çalışmaları, gerçeklerle uyuşmadı. Deneysel sonuçların birikmesiyle, belli bir noktada, birbirinden bağımsız olarak Gell-Mann ve Ne'eman'ın ikisi birden çözümü buldu. Gell-Mann makalesinin ilk biçimlerinden birini 20 Ocak 1961'de okunup tartışılması amacıyla dolaşıma sürmüştü. Ne'emann ise, Gell-Mann'dan habersiz olarak yaklaşık aynı sonuca ulaşarak makalesini, yayınlamak üzere aynı yılın 13 Şubat'ında dergiye göndermişti.

İsrailli fizikçi Yuval Ne'eman (d. 1925) İsrail ordusunda etkin bir subaydı ve barış döneminde Londra elçiliğinde askeri ateşelik yapmıştı. Oradayken de, boş zamanlarında fizik ve matematik çalışmaya karar vermişti. Londra'daki İmperial College'de fizik hocalığı yapan Pakistanlı fizikçi Abdus Salam'ın öğrencisi olmuştu. Çok yetkin bir matematikçi olan Ne'eman, deneysel olarak bilinen ögesel parçacıklar grubuyla matematikteki grup kuramı arasında bağlantı olduğunu kısa sürede fark etti. Özellikle hadronlar (SU 3) grubuyla bağıntılıydı. Teknik ayrıntılara girmeden adlardan söz ediyorum; bu matematiksel çerçeveyle parçacıkları Mendeleev'in periyodik sistemini andırır biçimde sınıflandırmanın mümkün olduğunu söylemek yeterli olacaktır. Gözlenen düzenlilikler açık seçikti ki, henüz bilinmeyen parçacıkların özellikleri bile bu sayede öngörülebiliyor; öngörmeler de sonraki deneylerle doğrulanıyordu. Zamanında Mendeleev'in periyodik sistemi için de, aynı şeyler yaşanmıştı; onun bu tablo üstüne hiçbir kuramsal temeli yoktu, ama dışuyarlamalarında (=extrapolations) sağlam bir özgüveni vardı. Mendeleev sisteminin açıklanması, geliştirilmesi için altmış yıl alan atom fiziğinin tüm bilgisine sahip olmayı gerektirmişti. Belli bir yere dek aynı şey (SU 3) sınıflandırması için de geçerliydi. Böylelikle, (SU 3)'ün kuarklar aracılığıyla adıl (=substantive) açıklamasına daha da yaklaşmış oluyoruz.

(SU 3)'ün soyut matematiksel sonuçları, George Zweig'la aynı zamanda bu kavramı ileri süren Gell-Mann'ın *kuark* adını koyduğu altögelerin varsayımıyla elde edilebilir. *Kuark* adı, Gell-Mann'ın, bu sözcüğün yer aldığı James Joyce'in *Finnegan's Wake* adlı kitabına yakınlığının göstergesidir. Kuarklar, kolaylıkla fark edilebilecek özelliklere sahip olmalıdırlar - örneğin, yükleri, elektron ya da proton yükünün üçte biri ya da üçte ikisine eşit. Fizikçiler kuarkları ay taşlarından kozmik ışın sağanaklarına dek her yerde dikkatlice aradılar, ama boşuna. Bununla birlikte, kuark varsayımı (SU 3)'ün yanısıra daha pek çok şeyi - örneğin, kütleleri, manyetik momentleri, ara kesitleri ve diğerlerini - açıklamakta işe yaramakta ve dolayısıyla önemli bir ağırlığa sahip olmaktadır. Kuark varsayımı, parçacık kuramında geçici bir aşama olsa da, Bohr'un modellemeye dayalı kuramı gibi geçici adımları anımsayalım, büyük ilerlemelere yol açabilir.

Kuramcılar, serbest kuarkların kendilerini açığa vurmaktan niçin kaçınabileceğine ilişkin nedenler bulmakta gecikmediler. Klasik fizikte serbest manyetik kutuplar yoktur ve bir mıknatısı kesersek, tek tek iki ayrı kutup değil, yine iki kutuplu iki tam mıknatıs elde ederiz. Kuarkların durumu da buna benzer olabilir. Örneğin, bir piyonun bir kuark ve bir karşıt

kuark içerdiği sanılmaktadır. Bunları ayırmaya çalışırsak, kullanılan enerji yeni bir kuark-karşıt kuark çifti yaratır, bunlar da ayrılma anında baştaki kuarklara cins cinse bağlanır. Dolayısıyla iki piyon oluşur, ama kuark açığa çıkmaz: Bu karmaşıklığa ek olarak, her kuarkın bir de karşıt kuarkı olduğu varsayılmaktadır. Bu üç kuarka, *yukarı* (=upward), *aşağı* (=downward) ve *yan* (=sideways) anlamında *u*, *d* ve *s* adları verilmiştir. Bunlar, üstü kapalı olarak, üç korunan niceliğe karşılık gelirler: baryon sayısı, elektrik yükü ve acaiplik. Korunma, hiçbir tepkimenin bu nicelikleri değiştiremeyeceği anlamındadır; doğal olaylara karşılık gelen herhangi bir eşitliğin iki yanındaki değerleri aynı olmalıdır. Ama, zayıf etkileşme, diğer iki niceliği değilse de acaipliği değiştirebilir.

Kuark varsayımı son derece ilgi çekicidir, ne var ki son yıllarda hastalık belirtileri göstermeye başlamıştır. İlkin, kuarkların, üç değere eşit olabilen ve *renk* (=color) denilen ek paketçik sayılarına sahip olmaları gerektiği bulunmuştur. Renge, paketçik devinbilimin yapısında korkunç bir gedik belirmesini önlemek için gerek duyulmuştur, çünkü bu nicelik olmadan büküm ve istatistik arasındaki ilintiler (Bknz. s. 155) ve öteki önemli inanışlar çökmektedir. Böylece kuark sayısı dokuza çıkmalı ve kuşkusuz herbirinin de ayrıca birer karşıtı olmalıdır. Gelgelelim tek sorun bu değildir.

1972'de üç genç kuramcı, Sheldon Glashow, T. İlliopoulos ve Luciano Maiani, bazı olayların olmama nedeninin, bunların, dördüncü bir quarkın varlığı tarafından engellenmesi olduğunu ileri sürmüşler ve bu dördüncü kuarkın özelliklerini ayrıntısıyla belirlemişlerdi. Dördüncü kuarkın varlığına ilişkin gerekçeler, doğru olup olmadıkları bir yana, incelikle belirlenmiş olmalarına karşın, epeyce dolambaçlıdır. İki yıl sonra, tümü iki hafta içinde keşfedilmiş yeni ve çok dikkat çekici bir parçacık ailesi, dördüncü kuarkın varlığıyla açıklanabilmiş ve böylece bu varsayıma sağlam bir destek sağlamıştır.

Deneysel alandaki ilerlemenin bir kanadına önderlik etmiş olan C. C. Ting, Çinli anne babasının bir gezi amacıyla Birleşik Devletler'de bulunduğu sırada, bir erken doğum sonucu 1936'da Ann Arbor'da (Michigan) dünyaya gelmişti. İki ay sonra aile Çin'e geri dönmüş, Ting yirmi yaşına dek orada kalmış, sonra da eğitimini Michigan Üniversitesi'nde tamamlamak üzere Birleşik Devletler'e geri gelmiştir. Ting özellikle *ağır fotonlar* diye adlandırdığı konu, elektron-pozitron çiftine bozunan parçacıklar üzerine ilgi duymakta ve onları yüksek enerjili protonların beriyumla çarpışma ürünleri içinde aramaktaydı. Böylesi çarpışmalarda, hemen her türden parçacıklar yaratılır ama elektron-pozitron çiftlerine gerçekten ender olarak raslanır - her 10^6 çarpışma başına 1 tane. İmzaları, ya da fizikçilerin deyimiyle, parçacıkları ayırt etmekte yararlanılan görünür izleri oldukça farklı ve taklit edilmesi zordur. Ting ve arkadaşları aradıkları parçacağı aylarca gözlemişler ama saklı tutarak daha kesinlikle emin olmak istemişlerdi. Sonunda, bulduklarını yayınlamaya hazırdılar, ama bir sürpriz de onları bekliyordu.

Berkeley'deki fizikçilerle işbirliği halindeki Kaliforniya Stanford'daki bir grup SLAC (Stanford inear accelerator {=çizgisel ivmelendirici}) fizikçisi, aynı parçacığı bir süredir gözlemekteydi. Ama, onlar farklı bir yöntem izlemekteydi: elektron-pozitron çarpışması. Bu dahiyane yöntemde elektron ve pozitronlar ters yönde ivmelendirilip birbirlerine doğru fırlatılır (merkez kütlesi de dingin kalır). Bu tür demet çarpıştırmalı ivmelendiriciler

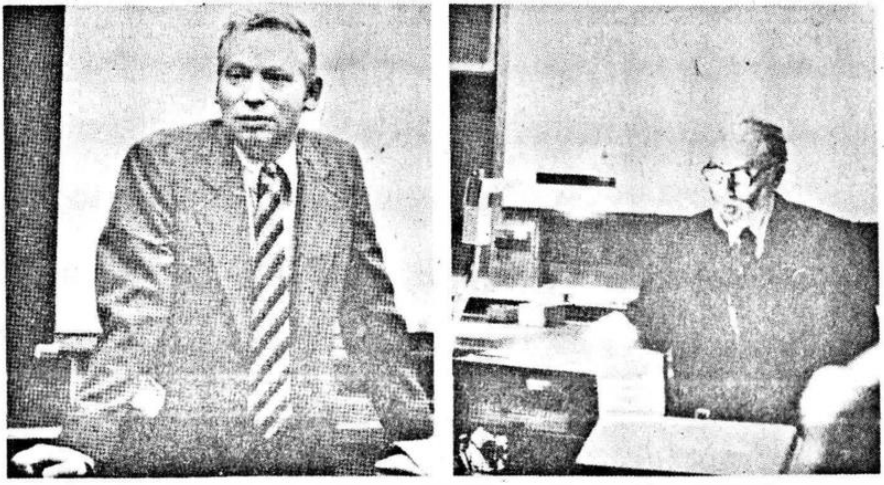
SLAC'ın büyük çizgisel ivmelendiricisi tarafından besleniyordu. Bu girişimin itici güçlerinden biri olan Burton Ritcher, aygıt yapıldığından bu yana onun önde gelen kullanıcılarından da biriydi. SLAC fizikçileri elektron-pozitron çarpışmalarında beklenenden daha fazla hadron üretildiğini fark etmişlerdi. Çarpışan parçacıklar için seçilen özel bir enerji değerinde, söz konusu olay hiç beklenmedik yükseklikte bir orantıyla gerçekleşmiş ve sonuçta da, bu enerji değeri için hiç alışık olunmadık uzunlukta bir yaşam süresine sahip bir parçacığa karşılık gelecek bir seselimin tam yeri belirlenmişti. Bütün bunların olup bittiği günlerde Ting de *kendi* parçacığı hakkında kesinliğe ulaşmıştı ve her iki parçacığın aynı olduğu ise apaçıktı. *Physical Review Letters* dergisinin 2 Aralık 1974 tarihli sayısında iki kaşifin de mektubu yer almıştı. Ama ne yazık ki, yeni parçacığın adı üzerinde anlaşamamışlardı. Ting, adını J koymuştu, Stanford fizikçileri ise, ψ. Çift adlılıktan kaçınmak amacıyla, ikincisini kullanacağız. *Physical Review Letters* dergisinin aynı sayısında üçüncü bir mektup daha basılmıştı. Bu mektupta, İtalya Frascati'de bir başka elektron-pozitron demet çarpıştırmalı aygıtıyla elde edilmiş,ψ parçacığı hakkındaki doğrulama ve tam ölçümler yer alıyordu. İtalyan fizikçiler, buluşu telefonla öğrenmişlerdi; aygıtları normal koşullarda ψ 'ın yaratılması için gereken eşik değerin biraz altındaki enerjide çalışıyordu, ama aygıtı daha yüksek enerjilere itmişler ve sınırlarını zorlayarak ψ 'ın oluşması için gereken eşik değerin üzerine çıkabilmişlerdi.

ψ 'ın özelliği büyük bir kütleye - 3.098 MeV - ve 10^{-23} saniyelik bir ömre sahip olmasıdır. Bu çok kısa bir süredir, ama eğer parçacık yeğin etkileşmeyle bozunsaydı sahip olduğu enerjiden tahmin edilebilecek sürenin en azından 1.000 kat daha uzundur. ψ 'ın göreceli dengeliliğindeki bilmece, acaip parçacıkların dengeliliğindeki bilmeceye benziyordu. Gerçekten, nedenler de birbirine benziyordu ve ψ parçacığının göreceli dengeliliği, *tılsım* (=charm) adı verilen ve yeğin etkileşimlerde korunan yeni bir paketçik sayısı ile ilintilendiriliyordu. Ama yeni paketçik sayısı yeni bir kuark da gerektiriyordu; işe bakın ki, bu tam da Glashow ve arkadaşlarınca varsayılıp önerilmiş olan kuarktı. Özgün ψ parçacığını, tılsımlı (=charmed) (Ç.N. 93) kuarklar içeren tüm bir parçacık ailesi izledi. Demek ki kuarklar, en az dört türdü. En az diyorum çünkü Lederman ve arkadaşlarının 1977'de yaptığı deneyler yüzünden, bir kuarkın daha varlığı gerekliymiş gibi görünmektedir. Belki enerjiyi arttırdıkça, ortaya yeni yeni daha başka paketçik sayıları da çıkacaktır. Tamamlanıp tümlenmiş bir kuram için umudumuzu koruyacaksak, bu hiç de hoş bir manzara sayılmaz.

Kuarklar, yeğin etkileşen parçacıklar olan hadronların temel bileşenleridir, ama sadece elektromanyetik ve zayıf etkileşen parçacıklar olan leptonlar da bölünüp parçalanma eğilimindedirler. İlkin, sadece iki tür lepton vardı: elektronlar ve nötrinolar. 1930'ların sonuna doğru müyonlar eklendi. Ardından da nötrinoların iki tür olduğu gösterildi: biri elektronlarla, öteki de müyonlarla bağıntılıydı. Aynı değillerdi çünkü farklı tepkimelere yol açıyorlardı: biri elektronları, öteki de müyonları üretiyordu. Ama hepsi bu kadar değildir. Daha

---

(Ç.N. 93) Söz konusu paketçik sayısı için, Türkçemizde "tılsımlı, büyülü" sözcüğü daha uygun düşecekken, belki de bir çeviri hatası yüzünden "çekici" sözcüğü de kimi yazılarda kullanılmaktadır.



Resim 12.12 Steven Weinberg (solda) ve Abdus Salam (sağda), 1979'da kuramlarını bir fizikçiler topluluğuna açıklamaya çalışırken. (Fotoğraflar E. Segrè.)

ağır yüklü leptonları gösteren deneyler de vardır ve belki bunlara da kendi özel nötrinoları eşlik etmektedir. Bu leptonu SLAC 'da görmüş olan Martin L. Perl ve arkadaşları, *trfton*, üçüncü lepton deyimini çağrıştırması için τ adını vermişlerdi.

Kuramsal bakış açısından zayıf ve elektromanyetik etkileşmeleri ve belki yeğin olanları da birleştirecek ciddi ve geniş kapsamlı kuramlar geliştirmek amacına yönelik önemli girişimler vardır. Bu kuramlar, tıpkı elektromanyetizmanın elektrik ve mıknatıslığı birleştirmesi gibi, daha yüksek bireşimler sağlayabileceklir. Steven Weinberg ve Abdus Salam birbirinden bağımsız olarak, olası bir kuram formüle ettiler. Bu kuram alanında tek olmadığı gibi henüz kanıtlanmış da değildir (Ç.N. 94), ama son buluşları hayranlık yaratacak ölçüde anlaşılır kılıp geleceğe yönelik öngörülerde bulunma gücü sağlamıştır. Weinberg, boş zamanlarını ortaçağ tarihiyle değerlendiren, Harvard'ın kızıl saçlı kuramsal fizik profesörüdür. Pakistanlı profesör Salam ile, daha önce, Londra'dayken karşılaşmıştık. Şimdilerde, Trieste'de (İtalya) asıl olarak gelişmekte olan ülkelerden gelen fizikçilerin yararlandığı bir kuramsal fizik merkezini yönetmektedir (Resim 12.12).

Tüm parçacık fiziği alanı bugünlerde oldukça hareketlidir ve herhangi büyük bir keşifle patlayabilecektir. Örneğin, Salam-Wienberg kuramınca öngörülen bazı çok ağır parçacıkları (80 GeV / c^2) bulma yarışı sayesinde (Ç.N. 95).

Parçacık fiziğinde daha fazla ilerleyecek değilim. Bunun yerine, kendi araştırma alanımdan uzaklaşmış da olsam, çağdaş fiziğin öteki alanlarına değineceğim.

(Ç.N. 94) S. Weinberg ve A. Salam, bu çalışmaları nedeniyle 1979 Nobel Fizik Ödülü' nü Lee Glashow'la paylaştılar.

(Ç.N. 95) Sözü edilen ve zayıf etkileşim taşıyıcısı olarak öngörülen W+ , W- ve Z0 bozonlarının varlığı 1982-83'de gerçekleştirilen bir dizi deneyle doğrulandı.

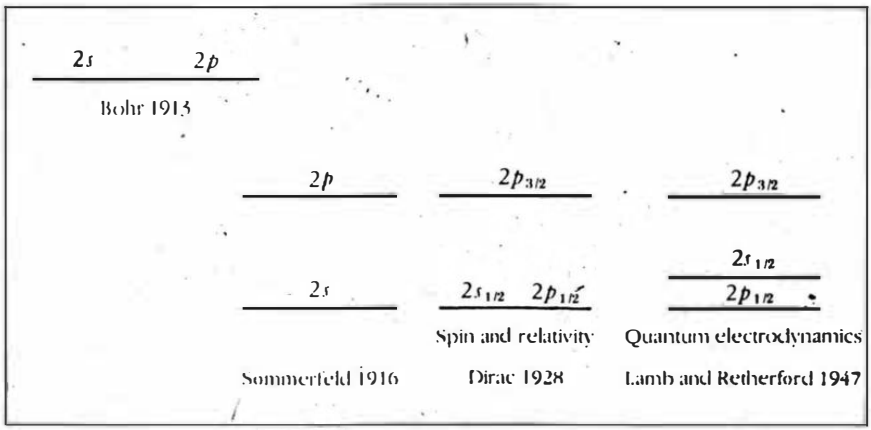
13

Yaşlı Gövdenin Yeni Dalları

Bu bölümde, daha önce değinmeye fırsat bulamadığım savaş sonrası dönemde fiziğin öteki alanlarında neler olup bittiği hakkında bir fikir vermek istiyorum. İlkin, araştırma çok arttığı için, hemen her alanda derin bir uzmanlık gerekli olmuştur. Bunun sonucu olarak da, daha dar alanlara ayrılmış birçok yeni bilimsel dergi ortaya çıkmıştır. İkinci olarak, savaş sonrası fiziğinde, Rutherford, Einstein ya da Bohr çapında büyük isimler görülmediği kanısındayım.

Birleşik Devletler'de basılan *Physical Review* dergisi, fiziğin tüm dallarını kapsama amacı güden düzenli yayın organlarının en büyüğüdür; beş altbölüme ayrılmıştır: genel fizik ve kuram, atom fiziği, çekirdek fiziği, katı hal fiziği (Ç.N. 96) ve parçacık fiziği. Bu bölümlemenin haklı gerekçeleri vardır; bireylerin genellikle bir ya da en çok iki bölüme ilgi duymalarının yanısıra, beş bölümün tümü birden (yaklaşık 30.000 sayfa) okuyucuların ev ya da bürolarına zorlukla sığdırılabilir. Öğretmenler ve mühendislikle sınır bölgesindeki uygulamacılar dışarda tutulursa, meslekten fizikçiler arasındaki istatistikler, fizikçilerin çoğunun bu beş alanda araştırma yaptıklarını göstermektedir. Buradaki sınıflandırma ise, benzeri tüm sınıflandırmalar gibi, biraz olsun uzlaşıma dayalıdır ve epeyce belirsiz sınırlara ve geniş çakışma bölgelerine sahiptir. Bu alanlarının tümünün birden tam betimlemesini yapmak mümkün ol(a)mayacağından, kişisel birikim ve tercihlerime dayalı olarak seçilmiş bazı özel konulardan söz edeceğim.

(Ç.N. 96) Son günlerde fiziğin bu dalının adı için yoğuşuk madde fiziği (=condensed matter) deyimi kullanılmaya başlanmıştır.



Resim 13.1 Hidrojen atomunun enerji düzeyleri kuramının tarihsel gelişimi. Toplam paketçik sayısı 2 olan düzey, örnek olarak alınmıştır. Bohr'a göre (1913) bu düzey, aynı enerjiye sahip olan biri çembersel (2*s* düzeyi) biri de elips biçimli (2*p* düzeyi) iki yörüngeye sahipti. Sommerfeld'e göre (1916), görelilik enerjiyi biraz değiştirip, 2*p* düzeyini 2*s* 'inkinden ayırıyordu. G. E. Uhlenbeck ve S. A. Goudsmith (1925) büküm ve elektronun manyetik momentini de hasaba kattı. Artık, 2 yerine 3 düzey, $2s_{1/2}$, $2p_{1/2}$, $2p_{3/2}$ vardı, ama görelilik göz ardı edildiğinde Sommerfeld'in önceki kuramında olduğunca ilk iki düzey çakışıyor ve geriye sadece iki ayrı düzey kalıyordu. Dirac'ın kuramı (1928) düzeylerin yerini ve paketçik numaralarını değiştirmiyor ama büküm ile göreliliği ilintilendiriyordu. 1947'de W. E. Lamb ve R. C. Retherford $2p_{1/2}$ ile $2s_{1/2}$ arasında da bir ayrım olduğunu buldu. Lamb kayması olarak bilinen bu olgu, ancak paketçik elektrodinamiği ile açıklanabilmektedir.

Paketçik Elektrodinamiği

Sıkça görüldüğü üzere, koşullar yeni bazı deneysel ve kuramsal yöntemlerle iyileştirilince (örneğin, Zeeman'ın buluşu; bknz. s. 13), eski konular yepyeni ve hiç beklenmedik sonuçlara yol açar. Yeni yeni gerçekler açığa çıkarıldıkça da önceki bilgilerin ne denli eksik olduğu anlaşılır ya da önceleri bilim kurgu sayılan bazı olgular teknik gelişmeler sonucunda gerçeklik kazanırlar.

Güzel bir örnek, en eski tayfölçümcülüğünden kalmadır. Hidrojen düzeylerinin ince yapısı, optik araçlarla birçok kez araştırılmıştı. Hatta bazı tayfölçümcüler, bunların tümden doğru olmadığından ve Dirac kuramıyla da uyuşmadığından kuşkulanmışlardı. Ne var ki sesler cılızdı ve genel kanı uyuşmanın mükemmel olduğu yolundaydı. Bu görüşe aykırı deneyler asla doğrulanamazdı.

Savaştan sonra Willis E. Lamb (d. 1913) ve öğrencisi R. C. Retherford, optik tayfölçümlerinden daha ince yöntemler kullanarak mikrodalga ile molekül demeti karışımı bir

yöntem kullanarak Dirac kuramında bir yetersizlik olduğunu tanıtladılar: çakışıyor olmaları gereken $s_{1/2}$ ile $p_{1/2}$ düzeyleri arasında enerji farkı vardı (Resim 13.1).

Hemen hemen aynı zamanlarda Polykarp Kusch (d. 1911), tamı tamına bir Bohr magnetonuna eşit olması gereken elektron manyetik momentinin, gerçekte biraz daha büyük olduğunu gösterdi. Bu keşifler, 1947'de Oppenheimer'ın düzenlediği İsland Konferansı'nda duyuruldu. Bu konferans ve daha sonraları düzenlenen bir kaçı daha, savaş yüzünden kesilen Solvay Konseyi'nin yerini almayı amaçlıyorlardı. 1947 konferansının ana konusu paketçik alan kuramıydı. Paketçik ilkelerinin elektromanyetik alana uygulanması, konunun en belirgin örneklerinden biridir. Paketçik devinbilimin kurucuları tarafından bu yönde pek çok adım atılmış, ama tümünde birden başarı sağlanamamıştı. Kuramda, kesin sonuçlar elde edilmesini engelleyen sonsuz büyüklükte nicelikler ortaya çıkmıştı. Gerçi sonraları bu tedirgin edici sonsuzluklarla başa çıkmanın kabul edilebilir matematiksel biçimlerde olmasa bile, az çok kılgısal yolları bulunmuştu..

Bu konuda, Japonya'da Sinitiro Tomonaga (d. 1906) (Ç.N. 97) ve grubunca savaş sırasında muazzam ilerlemeler sağlanmıştı, ama Batı bu gelişmelerden henüz haberdar değildi. Lamb ve Kusch'un deneyleri duyurulduğunda, Shelter Adası'ndaki konferansa katılanlar söz konusu kuram üzerinde uzun ve yoğun tartışmalara giriştiler. Cornell Üniversitesi'ne dönerken Hans Bethe, tam olmasa da Lamb kaymasını açıklayacak kimi ipuçları içeren ilk hesaplamayı trende yapmıştı. Shelter Adası Konferansı'na iki genç kuramcı, Rabi'nin koruması altındaki J. Schwinger (d. 1918) ile daha önce Los Alamos'da çalışmış olan R. P. Feynman (d. 1918) (Ç.N. 98) da katılmıştı. Sonraki aylarda bu fizikçiler paketçik alan kuramını "yeniden normalleştirilmiş (=renormalized)" kütleler tanımlayarak ve kolay hesaplamalara olanak sağlayacak biçimde yeni baştan formüle ettiler. Söz konusu kütle tanımlamaları, kuramdaki sonsuz kütle değerlerinden bir başka sonsuz niceliğin çıkarılarak indirgenmesi ve sonuçtaki değerlerin gözlemlerle uyuşması anlayışına dayanıyordu.

Günümüzde belki de tüm fiziğin en duyarlıklısı olan bu kuramla deney arasında uyuşkunluk hayranlık uyandırıcı boyutlardadır. Örneğin, elektronun manyetik momenti 10^9 'da 2'lik duyarlılıkla ölçülebilmekte ve ölçümün sonucu kuramla 10^9 'da 1'lik duyarlılıkla uyuşmaktadır. Yine, hesaplamalara katılmayan daha yüksek yaklaşıklıklardan kaynaklanan belirsizlik 10^9 'da 3'den daha büyük değildir. Tüm bu dikkat çekici başarılara karşın kuram, sonsuzlukların birbirinden çıkartılma gerek(li)liğinden kaynaklanan kusurlar yüzünden mantıksal açıdan da hâlâ kusurlu sayılmaktadır. Bu kanı, kuramcıların çoğunluğunun yanı sıra Dirac tarafından da paylaşılmaktadır (Ç.N. 99).

(Ç.N. 97) S. Tomonaga 8 Temmuz 1979'da Tokyo'da ölmüştür.

(Ç.N. 98) Richard Phillips Feynman 18 Şubat 1988'de New York'da ölmüştür.

(Ç.N. 99) Dirac'ın görüşleri için, Avrupa Fizik Topluluğu'nun (European Physics Society) Dirac'ın 75. doğum yıldönümü nedeniyle düzenlediği toplantıda Dirac'ın yaptığı konuşma en sağlam kanıttır. (Bknz. Euro News dergisinin ilgili sayısı.)

Bu bağlam çerçevesinde Feynman, şimdi artık öğrencilerin bile bilip kullandığı çok güçlü bir hesaplama tekniğini bulup geliştirmişti. Feynman çizgeleri (=diagrams) adıyla tanınan bu yöntem, olguların sezgisel yoldan betimlenerek matematiksel bağıntıların elde edilmesine ve irdelenmesine olanak sağlamaktadır. Feyman yöntemi cebirsel yanlışlıkların kolaylıkla yapılabileceği epeyce uzun ve yorucu hesaplamaların özetlendiği ve onların saptanmış bir dizi kurala uyarak daha yalın süreçlere dönüştürüldüğü steno yazısını andırmaktadır. Feynman'ın makaleleri yayınlandıktan sonra, söz konusu yöntem birçoklarınca öğrenilmiş ve doğru olup olmadığı gerçek anlamda kavranmaksızın sıkça kullanılmaya başlamıştı. O zamanlar Berkeley'de profesör olan seçkin fizikçi arkadaşım G. C. Wick (D. 1909), bu tür olaylar yüzünden çileden çıkmak üzereydi; gerçek kanıtlar olmaksızın salt kurallardan söz eden kuramsal fizik öğrencileri ve profesörlerinin hiçbir işe yaramayacağını düşünüyordu. Bu yüzden, matematiksel kuramın sağlam bir temelini oluşturmak amacıyla çeşitli makaleler kaleme almış ve bu makaleler zaman içinde klasikleşmişti. 1949'da F. Dyson, Swinger ve Tomonaga yöntemlerinin Feynman'ınkiyle aynı sonuçları verdiğini göstermişti. Burada adı anılan fizikçilerin çoğu Resim 13.3'de görülebilir..

O zamanlar da bilindiği üzere Fermi, paketçik elektrodinamiği üzerine modellediği zayıf etkileşim kuramını 1934'de geliştirmişti. Elde alınan etkileşimlerin zayıflığı yüzünden daha birinci yaklaşıklıkta mükemmel sonuçlara ulaşsa da Fermi'nin kuramı yeniden normalleştirilemez. Yukawa'yı izleyerek yeğin etkileşmelerin alan kuramı ya-

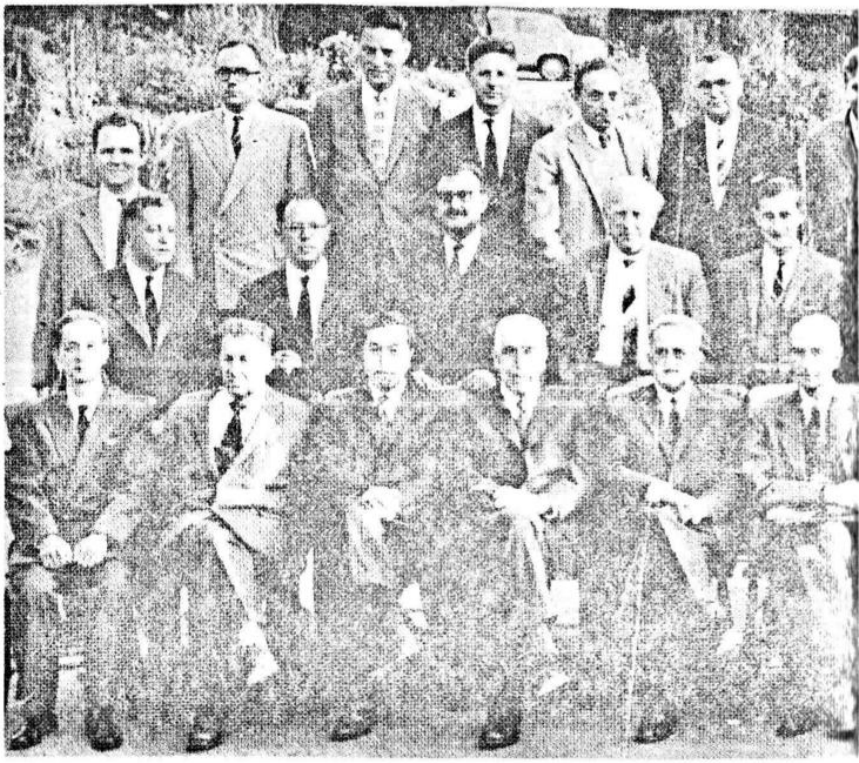
Resim 13.2 Soldan sağa, R. P. Feynman, J. Schwinger ve S. Tomonaga. Bu fizikçiler paketçik elektrodinamiğinde yaptıkları araştırmalar için 1965 Nobel Ödülü'nü birlikte kazanmışlardı. (Fotoğraflar; soldaki ve ortadaki, E. Segrè; sağdaki, Amerikan Fizik Enstitüsü, Nobel Seçkinleri Meggers Galerisi.)

pılmağa kalkışıldığında, ardı ardına uygulanacak yaklaşıklıklar yöntemi nedeniyle, verilen herhangi bir yeğin etkileşim şiddeti için ortaya çıkan güçlüklerin üstesinden kolay kolay gelinemez. Böylesi güçlükler alan kuramının çekiciliğinin 1960'larda kırılmasına yol açmıştı, ama artık bu kuram günümüzde yeniden canlan(dırıl)mış ve özellikle farklı türden etkileşimlerin birleştirilmesine olanak sağladığı için yeğlenir olmuştur. Böylesi umutları tuz buz edecek ya da tersine daha da besleyecek olan deneysel sınamalar ise, ileride gündeme gelecektir elbette.

Dışarıdan bakan birine, bu alandaki karışıklıklar Einstein öncesindeki devinen sistemler içindeki elektriğin özelliklerini araştırılma çabalarını anımsatacaktır. Köktenci iyileştirmeleri gerekli kılacak temel bozukluklar varolabilir. Birkaç yıllığına moda olup sonrasında kalıcı değerler ya da bazı doğru sonuçlar bırakan kuramlara, arada bir de olsa, hep rasgelinmiştir. Her ne ise, bu durum fizikte yeni değildir.

Lazer ve Mazer

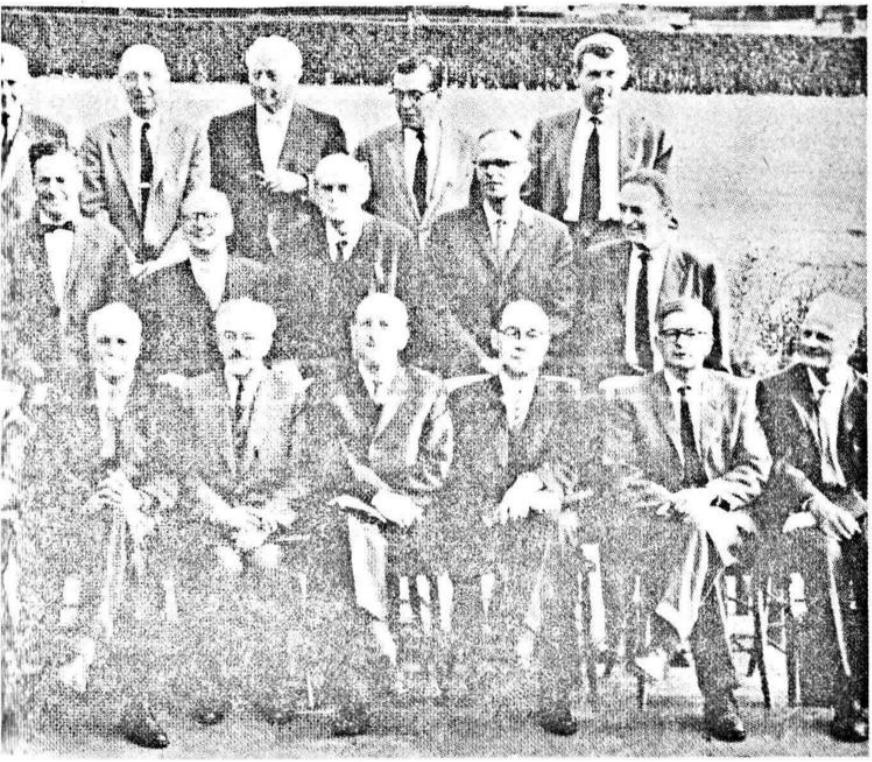
1920'lerde pek sevdiğimiz bir şaka vardı, sırat köprüsünü geçen iyi bir fizikçi ödül olarak birkaç düğmesine basmakla dilediği frekans, yeğinlik, kutuplanma ve yayılma yönünde elektromanyetik ışıma yayan bir aygıt buluyordu cennete gittiğinde. 1917'de Einstein, sayfa 95'de sözünü ettiğimiz makaleyi yazdığında, o iyi fizikçilerin ödüle ulaşması için kavramsal



Resim 13.3 1961 Solvay Konseyi. Oturanlar, soldan sağa: S. Tomonaga, W. Heitler, Y. Nambu, N. Bohr, F. Perrin, J. R. Oppenheimer, Sir W. L. Bragg, C. Møller, C. J. Gorter, H. Yukawa, R. E. Peierls, H. A. Bethe. İkinci sıra: I. Prigogine, A. Pais, A. Salam, W. Heisenberg, F. J. Dyson, R. P. Feynman, L. Rosenfeld, P. A. M. Dirac, L.van Hove, O. Klein. Üçüncü sıra: A.S. Whightman, S. Mandelstam, G. Chew, M. L. Goldberger, G. C. Wick, M. Gell-Mann, G.Källen, E. Wigner, G. Wentzel, J. Schwinger, M. Cini. Yaşlı kuşağın temsilcileri sayılan Bohr, Bragg ve Dirac ile özellikle paketçik elektrodinamiği alanında etkin yeni güçler Tomanaga, Schwinger, Heitler, Bethe ve asıl önemli çalışmaları ileride ortaya çıkacak olan Prigogine (ısıldinamik), Salam birlikte görülmektedir. (Solvay Enstitüsü)

araçları hazırlamakta olduğunun pek farkında değildi, ama bütün bu olup bitenlerin gerçekte başka bir anlamı da yoktu doğrusu. Lazerler, mazerler ve benzeri aygıtlarla, yukarıda sözü edilen türden üstün aygıtların gerçekleşmesine epeyce yaklaşılmıştı ve Einstein'ın konuya ilişkin bağıntılarındaki B katsayısıyla ilintili olan uyarılmış yayınım düşüncesi tümü için temel niteliktevdi.

Bu araçlar, büyük bir çoğunlukla daha önce radar işinde çalışmış ve bu arada öğrenip kullandıkları teknikleri ileride bilimsel amaçlarla daha da geliştirmiş olan eski tüfekler ta-



rafından savaştan sonra yapılmışlardı. Charles H. Townes (d. 1915) uyarılmış molekülleri, özel olarak amonyağı, etkin öge olarak kullanıp 1954'de ilk kez bir yükseltici yapmıştı. Bu teknik sonraları tüm dünya üzerindeki araştırmacılarca daha da ilerletilip eşi benzeri görülmemiş yeğinlik ve tekrenkliliğe (=monochromaticity) sahip ve olağanüstü ölçüde odaklaştırılabilen lazer ve mazerlere giden yol açılmıştı. Böylesi ışınlar sayesinde sağlanan başarıların bir örneği olarak, ay üzerine yerleştirilmiş aynaya lazer ışınları gönderip yansıyanı saptamanın gerçekleşmesi gösterilebilir. Lazerler optik alanında neredeyse bir devrim yaratmıştı, hem çizgisel olmayan optik gibi yeni olguların gözlenmesini hem de 'holography' gibi yeni tekniklerin geliştirilmesini olanaklı kıldığı için.

Çekirdek Fiziği

1934 yılında Roma'da çekirdek fiziği üzerinde çalışırken, atom numaralarını dik eksende, çekirdek içindeki nötron sayılarını da yatay eksende gösteren bir kart hazırlamıştım. Bilinen tüm çekirdekleri noktalarla işaretlemiştim: dengeli olanları siyahla, ışımaetkin olanları da kırmızıyla. Her hafta, kırmızı noktaların yenilerini ekledikçe gururlanırdık.

Birkaç yıl sonra Berkeley'de benzer bir karta rasladım, noktaların yerini çividen sarkan etiketler almıştı. Kart tüm duvarı kaplıyor ve sıkça olduğu üzere, bilgiler tazelendikçe etiketler de değiştiriliyordu. Savaş sonrasında, Los Alamos'da önceki hastalıklı işten kopulduğu bir sırada, benzer bir kart hazırlamaya karar vermiştim. Gelgelelim, aradan geçen süre içinde eldeki konuya ilişkin bilgi epeyce artmış ben de bu yüzden eşim Elfriede'nin yardımını istemek zorunda kalmıştım. Eski verilere ek olarak_kütle, ortalama ömür, bozunum yolları_sayısız yeni veri vardı, örneğin yayınım enerjisi, nötron yakalama ara kesiti, bükümler ve diğerleri. Sonuçta ortaya çıkan tablo, gerçekten büyük bir başarıydı ve on binlerce kopyası çıkartıldı. Los Alamos'daki güvenlik görevlileri önceleri kaşlarını çattıysa da sonunda basım için izin verdiler. Günümüzde benzer tablolar, bazen çekirdek endüstrisiyle bağlantılı olarak ve oldukça özenli kuruluşların salt bu işle görevli çalışanları tarafından hazırlanmakta, hatta nükleer savaş gemisi ve filolarına komuta eden amirallerin portlerinde fon olarak kullanılmaktadır. En son hazırlanmış (1979) çekirdek verileri, 1500 sayfalık bir telefon rehberi kalınlığındaydı.

Böylesi tabloların incelenmesi, zaman geçirmenin en hoş yollarından biridir ve uzmanlara yeni düşünceler esinleyen gerçek bir kaynaktır. Gözlem verilerinin birikmesiyle, önceleri bilinmeyen yeni düzenlilikler bulunmakta ve böylece çekirdek modelleri daha da ayrıntılı olarak geliştirilip dikkat çekecek ölçüde öngörüde bulunma olanağı sağlamaktadır.

En başarılı modellerden biri, yörüngesel atom modelinin çekirdeğe genelleştirilmesi olan kabuk modelidir. Bu doğal sayılabilecek görüş epeyce eskidir aslında. 1930'ların başlarına dek geri gitmektedir, ama o zamanlar hem ilkesel hem de uyarlama boyutunda çeşitli güçlüklerle karşılaşmıştı. İlkin, çekirdek içinde yörüngelerin nasıl varolabildiği sorusu açıklıkla yanıtlanamıyordu, üstelik çekirdek çarpışmalarının her türlü periyodik yapıyı kırdığı da varsayılıyordu. Gelgelelim durum gerçekte böyle değildi, çünkü Pauli'nin dışında tutma ilkesi, eğer son düzey doluysa çarpışmaya olanak tanımıyordu. Üstelik, savaş sonrasında toplanan verilere göre kabukların varlığı kesinlik kazanmıştı. Yörüngelerin paketçik sayıları ve enerji düzeyleri için tıpkı periyodik sistemdeki gibi, kabukların doluluğunu gösteren ve kabukların kapalılığında asal gazları veren "gizemli sayılar" rahatlıkla tanımlanabilirdi. Çekirdeğe ilişkin gizemli sayılar 2, 8, 20, 28, 50, 82 ve 126'dır. Çekirdek, bu gizemli sayılardan birine eşit miktarda proton ya da nötron içeriyorsa, oldukça dengeli bir yapı gösterir. Maria Meyer (1906-1972), Şikago'da (Resim 13.4) gizemli sayıları ayrıntısıyla araştırmış ama yanlış sonuçlar elde etmişti. Sorunu hakkında Fermi'yle görüştüğünde, şu soruyla karşılaşmıştı, "Nükleonların yörünge-büküm etkileşmelerini de hesaba katmayı anımsamış mıydınız?". Meyer çabucak karşılık vermişti: "Hayır. Ama, şimdi herşey hal loldu." Gerçekten de öyleydi.

Savaş mağlubu Almanya'da H. D. Jensen, P. Haxel ve H. Suess, Meyer'den bağımsız olarak benzer şeyler yapıyorlardı. Daha önce, 37. sayfada sözünü ettiğimiz Suess ile aynı aileden gelen H. Suess, aile geleneğini izleyerek yerbilimci olmuştu ve yeryüzünde ögelere niçin farklı miktarlarda raslandığını araştırıyordu. Bazı gizemli sayıların özel dengelilik durumlarına karşılık gelmesinden çok etkilenmiş ve bu konuyu fizikçi arkadaşlarıyla da tar-

Resim 13.4 Maria Meyer, çekirdeklerin özelliklerini içeren bir kartı Şikago Üniversitesi'nde incelerken. Bu düzenli çalışma, Bohr'un atom modelinin bir benzeri olan, çekirdekler için kabuk modelini geliştirmesine yol açmıştı. (Fotoğraf; Şikago Üniversitesi.)

tışmış, tartışmaların sonunda da hep birlikte Meyer ile aynı sonuca ulaşmışlardı.

Kabuk modelleri, gizemli sayılara yakın miktarda nükleon içeren çekirdekler için çok iyi sonuçlar vermişse de, yarı dolu kabuklar için çalışmamıştır. Bu durum için uygun model, kabuk modelinin geliştirilmesinin hemen ardından keşfedilmişti. Genç bir öğrenci olarak babası Niels'e Los Alamos'da eşlik eden Aage Bohr ve B. Mottelson, Kolombiya Üniversitesi'nden James Rainwater'ın özgün bir görüşünü geliştirmişler ve içindeki çekirdeksel özdeğin az ya da çok sıvı gibi davrandığı tüm çekirdeklerin toplu devinimlerini ele alıp incelemişlerdi. Kabuk modeli ve toplu devinim modeli sınır durumlarına karşılık düşmekteydi. Gerçekte ise, her iki davranış biçimi de birlikte var oluyor ve birbirini etkiliyordu. Bu iki modelin birleşimi şimdi tüm çekirdekleri kapsayacak biçimde ve epeyce geliştirilmiştir.

İlk uranötesi ögeler neptinyum ve plutonyumun keşfi, Bölüm 10'da gördüklerimizle birlikte, oldukça uzun erimli etkiler yaratmıştı. Yine de öykünün sonuna gelinmemişti; giderek büyüyen atom sayılarıyla daha pek çok ögenin varlığı açığa çıkarılacaktı.

Hazırlama yöntemi hep aynıydı: çekirdeğe nötron eklenmesi, ardından, nötronu protona dönüştüren beta bozunumu. Örneğin, Pu^{239}'u bir çekirdek tepkirinde ışınıma tutarak, nötron yakalanması yoluyla Pu^{240} ve Pu^{242} elde edilebiliyordu. Sonra da bu atomlar beta bozunumuyla amerikyumun ortak 95 atom sayısına sahip 241 ve 243 kütle sayılı eşillerine dönüşüyordu. Öge 95'i nötronlarla bombardımana devam edilerek, yine beta bozunumunun ardından öge 96 (küryum) ve diğerleri elde edilebiliyordu. Yeni uranötesi ögeler elde etmekte olağanüstü güçlü nötron kaynakları, hatta atom bombası kullanmakta büyük yarar vardır, yeni ögelerin bazıları atom bombasının patlamasının yıkıntıları arasında bulunmuştur. Ama, bu yönde sonsuza dek ilerlemek olası değildir, çünkü hem ara eşillerin yarı ömürleri son derece kısadır hem de başka tepkimeler arzu edilenlerden daha sıklıkla ortaya çıkabilmektedir.

Atom numarasını arttırma yarışında, nötron ekleme yönteminin artık işe yaramadığı bir nokta vardır. O aşamada fizikçiler, ağır iyon bombardımanını kullanırlar. Örneğin, O^{16}'yı mermi olarak kullanıp sekiz protonu birden bir kerede eklemek olasıdır. Bunu gerçekleştirmek için özel ivmelendiriciler gereklidir. Öte yandan verim de küçüktür ve işin sonunda, alfa parçacık yayımı ve kendiliğinden parçalanmaların ölçülmesiyle atomlar tek tek gözlenir.

Öge 95 (amerikyum), 96 (küryum), 97 (berkelyum), 98 (kalifomiyum), 99 (einstenium), 100 (fermiyum), 101 (mendelevyum), 102 (nobelyum) ve 103 (lawrencium) hep böylelikle üretilmişlerdir. Aktinyumla başlayan on dört öge yeni bir ender toprak ailesini oluşturur ve bu olgu ögelere verilen adlara da yansır; bu yüzden amerikyum nadir toprak amerikyumun benzeşidir (=homolog). Tüm uranötesi ögeler dengesizdir; ya alfa, ya beta, ya da kendiliğinden bölünme ile bozunurlar. Birçokları Berkeley'de, aralarında G. T. Seaborg, S. G. Thompson ve R. A. James'in bulunduğu bir grup tarafından ve ya nötron ya da ağır iyon bombardımanı yoluyla elde edilmişlerdi.

Daha yakınlarda ise, özellikle G. N. Flerov'un önderliğindeki Sovyet fizikçiler de kendi teknik ve yöntemlerini geliştirerek daha büyük atom sayıları elde etme yarışına katılmışlardır. En son ulaşılan sayılar, 105 ve 106'dır (Ç.N. 100).

Mössbauer Etkisi

Bu olgu hem çekirdek hem de katı hal fiziğinde önem kazanmış ve sayısız uygulama alanı bulmuştur. 1958'de, henüz Münih Üniversitesi'nde bir öğrenci olan Rudolf Mössbauer tarafından bulunmuştur. Serbest durumdaki bir çekirdek, gama ışını yayarak geri teper ve geri tepme enerjisi geçiş (=transition) enerjisinden çıkarılır. Genellikle geri tepme enerjisi geçiş enerjisiyle karşılaştırıldığında çok küçük kalır ve geri tepme, yayınan tayf çizgisinde küçük

(Ç.N. 100) Günümüzde bu sayı 107'ye çıkmıştır. 106 ve 107 sayılı ögelerin adları üzerinde henüz uzlaşım sağlanmamıştır.

bir kayma ve genişlemeye neden olur. Bununla birlikte, bazı katılarda ve bazı özel koşullar altında geri tepen tek bir atom değil, ama kılgısal açıdan sonsuz kütleye sahip olan küçük bir kristal parçasıdır. Bu durumda tayf çizgileri, genişlikleri salt belirsizlik ilkesince biçimlendiğinden, olağanüstü keskinleşir. Böylesi durumlarda enerji 10^{12}'de birlik duyarlılıkta tanımlanabilir.Optik bir lazerle sağlanabilecek en keskin çizgi de aynı genişliktedir. Mössbauer çizgilerinin keskinliği, başka yollardan tümüyle erişilemez olan çekirdek düzeylerinin Zeeman etkisi, bazı görelilik etkileri, kristal örgüsündeki çevre atomların çekirdeklerince üretilen çeşitli tedirgiler, kimyasal etkiler ve daha birçok olguyu gözlemleme olanağını sağlar. Mössbauer etkisiyle ilintili binlerce yayın vardır ve bu çığ, fiziğin birbirinden ayrı alanları arasındaki karşılıklı ilginin ve herhangi bir alanda geliştirilmiş bir tekniğin nasıl olup da epey uzaktaki başka alanları derinden etkileyebildiğinin yeni bir örneğidir. Akla gelebilecek başka örnekler arasında Raman etkisi, çekirdeğin manyetik momenti ve belki de en gösterişlisi olan, izcilerin kullanımını sayılabilir. Bu karşılıklı bağlanılar, fizikte gitgide ağırlık kazanan özelleşmenin kesinkes karşıtı olup farklı bilimler arasındaki bağlantıları sürdürmenin yararlılığını hatta gerekliliğini vurgulamaktadır. Kimyacılar bu sorunla çok daha önceleri karşılaşmış ve kendi silah fabrikalarında "yeni silahlar" yapmada daha çabuk davranmışlardır.

Üstüniletkenlik

Kuramsal, atom ve çekirdek fiziğinden alınmış yukarıdaki örneklerden sonra, katı hal fiziğindeki gelişmelere ilişkin örnekler sunacağım. Ne yazık ki, bu örnekler benim kişisel teknik bilgi alanımın epey dışında kalmaktadır; dahası, örnekleri seçmek de oldukça büyük bir sorun olmuştur.

Öğrencilik yıllarımda, tüm ayrıntıları kapsamadan da olsa, fiziğin hemen her alanındaki gelişmeler henüz izlenebiliyordu. Fermi ile zaten birlikte çalışıyorduk, arkadaşlarım F. Bloch, H. A. Bethe ve R. E. Pierls, çekirdek fiziği ve katı hal fiziği alanlarında yoğun bir araştırma sürdürüyorlardı. Aslında, kuramcılar arasında birden çok alanda çalışana raslamak pek kolay değildir, bunun olası bir nedeni kuramsal yöntemin deneysel yönteme kıyasla daha az çeşitlilik göstermesidir (bu da, kuramın çekiciliğine yol açan büyük bir üstünlüktür.) Yeni kuşaktan, R. Feynman, L. D. Landau ve C. N. Yang gibi fiziğin çok çeşitli alanlarına katkılar yapmış kuramcılar da vardır, ama benzer örnekler oldukça seyrektir; deneyciler arasında ise daha da seyrektir.

Fizikteki tüm araştırmalar göz önüne alındığında, hem araştırmacı sayısı hem de bilimsel dergilerde ayrılan sayfa sayısı bakımından, katı hal fiziğinin günümüz fiziğinin en geniş alanı olduğu kolayca görülebilir. Endüstriyel uygulamalara da son derece açık olması nedeniyle bu özelliği doğal sayılmalıdır. Endüstrinin en iyi katı hal fiziği işliklerini doğrudan finanse ediyor olmasını da yine bu nedenle şansa bağlamamak gerekir.

Alan dışından biri olarak kendimi birkaç örnekle sınırlandıracağım. İlkin üstüniletkenlik konusuna değinmek istiyorum. Bu olgu, uzun yıllar sürdürdüğü daha düşük sı-

caklıklara ulaşma çabalarının hak edilmiş bir ödülü olarak 1911'de H. Kamerling tarafından bulunmuştu. Sonraki yıllarda ise, konu üzerinde deneysel ve kuramsal çalışmalar yavaş ilerlemişti. Leyden'deki ve başka yerlerdeki araştırmacılar, geçiş sıcaklıklarını, manyetik alanın etkilerini, özgün ısıların değişimlerini ve söz konusu olgunun diğer ilginç ve genel özelliklerini bulgulamışlardı. Berlin'deki araştırmacılar W. Meissner ve R. Ochsenfeld de, üstüniletkenliğin yeni bir yönünü 1933'de keşfetmişlerdi. Üstüniletkenin içinde manyetik alan tamı tamına sıfıra eşit oluyordu. Bu dikkat çekici özellik, elektrik direncinin ortadan kalkmasıyla birlikte üstüniletkenliği tanımlamaktadır. Meissner'in buluşu, üstüniletkenliğin ilk büyük ölçekli kuramına giden yolu açmış, sonraları F. ve H. London tarafından (1935) daha da geliştirilmişti.

Bu sonuçlar, küçük ölçekli (=microscopic) bir kuramdan neler beklenebileceğinin kesin göstergesiydi, ama büyük ölçeklilikten küçük ölçekliliğe geçiş, yani, üstüniletkenin özelliklerini atomlardan başlayarak türetecek bir kuram, uzun yıllar boyunca oluşturulabilir gibi görünmemişti. John Bardeen (d. 1908), Leon Cooper (d. 1930) ve J. Robert Schrieffer (d. 1931) çözümün ipuçlarını, ancak 1957 gibi ileri bir tarihte bulabilmişlerdi. Açıklama epeyce karmaşık olup paketçik devinbiliminin tüm inceliklerini bilmeyi gerektirir. Üstüniletkenliği elc almak amacıyla geliştirilen matematiksel şemanın, özgün problemden çok uzak alanlara bile uygulanabilir olması ilgi çekicidir. Örneğin, çekirdek fiziği, çekirdeksel özdek içinde de benzer olgu örnekleri sergiliyor gibi görünmektedir. Böylelikle kuramın önemi, özgün problem içinde kısıtlı kalmamakta, ama çok cisim (=many body) içeren sistemlerin davranışlarıyla ilgilenen daha birçoklarını kapsamak üzere genişlemektedir. Bu da verimliliği açık olan yepyeni düşünce yollarını önümüze sermektedir..

Üstüniletkenlik gibi düşük sıcaklıktan kaynaklanan bir olguya sıvı helyumda da rastlanmaktadır. Bu konunun önemli bir bölümü, SSCB'de Piotr Kapitza'nın (d. 1894) (Ç.N. 101) deneysel ve L. D. Landau'nun (1809-1968) kuramsal önderliğinde araştırılmıştır. Belirli bir eşik sıcaklığın altında - 2.18°K - He^4 yapışkanlığını (=viscosity) yitirir. Bu tür sıvılara *üstünsıvı* (=superfluid) denir. Üstünsıvı helyum, bazı şaşırtıcı davranışlar sergiler: İçinde bulunduğu kabın kıyıları boyunca sürünerek yükselir ve kelimenin tam anlamıyla onu hapseden kaptan kaçar, çeşmeden su gibi aşağı değil yukarı doğru akar ve benzerleri. Bu özelliklerden bazıları henüz 1924'de Einstein tarafından öngörülmüştü, ama doğanın hayal gücü Einstein'ın hayal gücünden bile çok daha genişti.

Helyumun, ender raslanan 3 kütleli bir de eşili vardır ve helyum 3'ün, yeterince düşük sıcaklıklardaki davranışları helyum 4'ünkünden epeyce farklıdır. Bu nedenle de düşük sıcaklıklardaki helyum bir başka, ilginçliklerle dolu ve gepgeniş bir araştırma alanıdır. İlk kuramlarda He^4'ün üstünsıvılığı, Bose istatistiğine uyması gerçeğiyle bağlantılandırılmıştı. Gelgelelim, Fermi istatistiğine uyan He^3 de yeterince biriktirilip 0.001°K'e dek soğutulduğunda, üstünsıvılık göstermiştir! Kuramın daha da geliştirilip genelleştirilmesi zorunluluğu ortadadır ve üstüniletkenlikte geçerli olan görüşler, bu amaçla yararlanılabilecek başlangıç noktaları olabilir.

(Ç.N. 101) P. Kapitza, 8 Nisan 1984'de Moskova'da ölmüştür.

Gözle Görülür Öteki Paketçik Etkileri

Paketçik devinbilimi atomların varlığını ve böylelikle, dolaylı yoldan, özdeğin tüm yapısal özelliklerini açıklamak için gereklidir. Ayrıca, gözle görülemeyecek kadar küçük sistemlere de sıklıkla uygulanmaktadır. Öte yandan, katı hal fiziğinde de büyük ölçekli nesneler içinde ortaya çıkan birçok paketçik devinimbilimsel etkiler vardır. Bir örnek, üstüniletkenlik ve üstünsıvılıktır; büyük ölçekliliğin daha belirgin bir örneği ise üstüniletken küçücük metal tüplerden geçen manyetik akının paketçiklenmesidir. Bu olgu, Münih'te ve Stanford Üniversitesi'nde birbirinden bağımsız olarak 1961'de gözlenmişti.

Bir başka örnek, potansiyel engelleri (=potential barriers) arasından paketçik tünellenmesidir (=quantum tunnelling). Bu olgu, çekirdeği çevreleyen durgunelektrik alanlarının yarattığı potansiyel engelleri yüzünden yıllar beridir çok iyi biliniyordu. Ama, benim burada sözünü ettiğim, insan yapısı, iki iletken arasındaki oksit dilimleridir.

Engellere ilişkin en ilginç olgulardan biri 1962 yılında B. Josephson tarafından öngörülmüş ve bir sonraki yıl içinde de P. W. Anderson ve J. Rowell tarafından gözlenmişti. Bir oksit katmanı iki üstüniletken arasına sandviçlendiğinde, sandviçin içinden geçen bir elektrik akımı elde edilir. Akımın iki bileşeni vardır: biri süreklidir, hatta elektronları devindirici (=electromotive) kuvvet olmaksızın da tıpkı bir üstüniletkenden kaynaklanıyormuşcasına kesintiye uğramadan varlığını sürdürür; bunun üzerine bindirilmiş ve sadece üstüniletkenler arasına V gerilim farkı uygulandığında ortaya çıkan ikinci bir almaşıklı bileşen daha vardır. Bu bileşenin frekansı, bağlantıyı (=junction) kurarken kullanılan malzemeden bağımsız olarak $\nu = 2eV / h$ değerine eşittir! Bu sayede, V biliniyorsa e / h değerini bir kerede verecek bir yöntem elde edilmiş, ya da tersine, eğer e / h biliniyorsa V ' yi ölçmek mümkün olur.

Metallerle yalıtkanlar arasında elektriksel özelliklere sahip özdek türlerinin - yani, yariletkenlerin - incelenmesi transistörün icadına yol açmıştı. Bu başarıya ulaşmada gerekli olan aşamalarından biri, olağanüstü saflıkta germanyum elde edebilmekti. Olasılıkla, daha önce hiçbir madde, germanyum gibi içinde ancak bir iki safsızlık (=impurity) örneğiyle elde edilmemişti. Bu malzeme ile Bardeen (aynı Bardeen, ileride üstüniletkenliği açıklamada yararlanılacak ipuçlarını bulacaktır), W. H. Brattain ve W. Shockley, Bell Laboratories'de ilk transistörü 1948'de üreteceklerdi. Transistör, hemen tüm elektronik devrelerde çok yönlü amaçlarla kullanılan bir yapı taşıdır. Temel işlevleri, vanalar gibi (Ç.N. 102), yükselticilik, doğrulmaçlık (=rectifying), salınıcılık (=oscillating) ve benzerleridir; ama, elektron-yayımlı filamanı olmadığından (Ç.N. 103), elektronikte gerçek bir devrim yaratmışlardır. Transistör olmasaydı ne çağdaş bir bilgisayar yapılabilir, ne de aya insan yollanabilirdi. Transistör, uygarlığımızı derinden etkilemiştir, çünkü bilgisayarları olası kılmış ve haberleşme araçlarımızı (=media) değiştirmiştir.

(Ç.N. 102) Bir önceki dönemin diyot ya da triyot gibi elektronik vanalar kasdediliyor.

(Ç.N. 103) Dolayısıyla aynı oranda ısınıp elektrik tüketmediğinden..

Fiziğin Sınırlarında: Gökfiziği, Yaşambilim

Fiziğe kesin sınırlar çizmek çok güçtür. Fizik, eğer fizikçilerin yaptıkları diye tanımlanacak olursa, molekülsel yaşambilim, gökfiziği ve yerbilim gibi birbirinden çok uzak alanlara da yayılacaktır.

Elektromanyetik ışıma gözlemlerinde, İkinci Dünya Savaşı'ndan önce tümüyle erişilmez olan frekans erimlerinde sağlanan ilerlemeler sayesinde gökfiziği, gökbilim ve kozmoloji alanlarında dev atılımlar sağlanmıştı. Dünyadan, radyogökbilimi; uydulardan da x-ışınları ile morötesi gökbilimi, savaştan önce hayal bile edilmemiş yepyeni manzaraları insanlığın gözleri önüne sermiş ve bir yandan da mercekli teleskop kullanmakta olan gökbilimcilerin dikkatini, daha önce önemsiz sayılagelmiş nesneler üzerinde yoğunlaştırmalarına neden olmuştu. Şimdi 'Quasarlar', pulsarlar (=atarca), nötron yıldızları ve kara delikler, hiç beklenmedik öyküleriyle gökyüzününü baştan başa doldurmuşlardır. Hatta, evrenin başlangıcı bile akla yakın öntezlerle aydınlatılmaya başlamıştır.

Daha alçakgönüllü ölçeklerde ise, çekirdek fiziği, güneşte oluştuğu kanıtlanmış çekirdek tepkimelerinin belirli evrelerinin işliklerde ayrıntılı irdelenmesi sonucunda, güneş enerjisinin kaynağını açıklamak üzere doyurucu açıklamalar ileri sürülmüştür. Bu tepkimelerden biri, protonlardan başlayarak helyum üretilmesidir. Söz konusu tepkime dizisini 1938'de H. A. Bethe bulmuştu. Dizinin sonunda dört proton bir helyum çekirdeğine dönüşür ve müthiş bir enerji açığa çıkar; bu sırada elektrik yük korunumu da uygun sayıda pozitron yayınımı ile sağlanır. Öteki çekirdekler ise dizide katalizör (Ç.N. 104) olarak yaşamsal bir rol oynarlar. Kuramsal fiziğin bir dalı olarak, çekirdekbireşimi (=nucleosynthesis) epeyce gelişmiştir; biz de buna bağlı olarak bazı alçakgönüllü deneyler yapabiliriz yeryüzünde,

Güneşteki çekirdek tepkimeleri, denetlenip yeryüzünde ve uzay değil insan ölçeklerinde üretilebilseydi eğer, en önemli enerji kaynağımız olurdu. Bu hedefe ulaşmak amacıyla tüm yeryüzünde yoğun araştırmalar sürdürülmesine karşın, ne yazık ki henüz büyük başarılar sağlanamamıştır. Temel sorun, gaz karışımındaki çekirdekleri birbiriyle tepkimeye sokabilmektir. Bunu kotarmanın yollarından biri, elektriksel yükboşalımı bir başkası da lazer ışınlarıyla ısıtmaktır. Geçmiş yılların konusu olan gaz yükboşalımı, böylelikle plazma fiziğine aktarılmış olmaktadır. Plazma, atomların, elektronların ve gaz halindeki iyonların karışımıdır. Plazma araştırmalarının sonal amacı, yeterince yüksek ve basınç altında plazma elde etmek ve bunu, ögeleri arasında bir çekirdek tepkimesine yol açmaya yetecek süre içinde birarada tutabilmektir. Sözü edilen ögeler ise, çoklukla hidrojen, döteryum ve trityum - 1, 2 ve 3 kütleli hidrojen eşilleridir. Plazma bir kez çekirdeksel olarak tutuşturulduktan sonra, çekirdek tepkimelerinden açığa çıkan enerji, plazmayı sıcak tutmaya yetecektir.

(Ç.N. 104) Girdiği tepkimeden, aynı nitelik ve nicelikte çıkmasına karşın tepkimenin sürmesini sağlayan özdek ya da bileşikler.

Sonal amaç, fazlalık ısıyı denetimli koşullar altında çekmek ve herhangi başka ısıl enerji kaynakları gibi kılgısal amaçlarla kullanabilmektir.

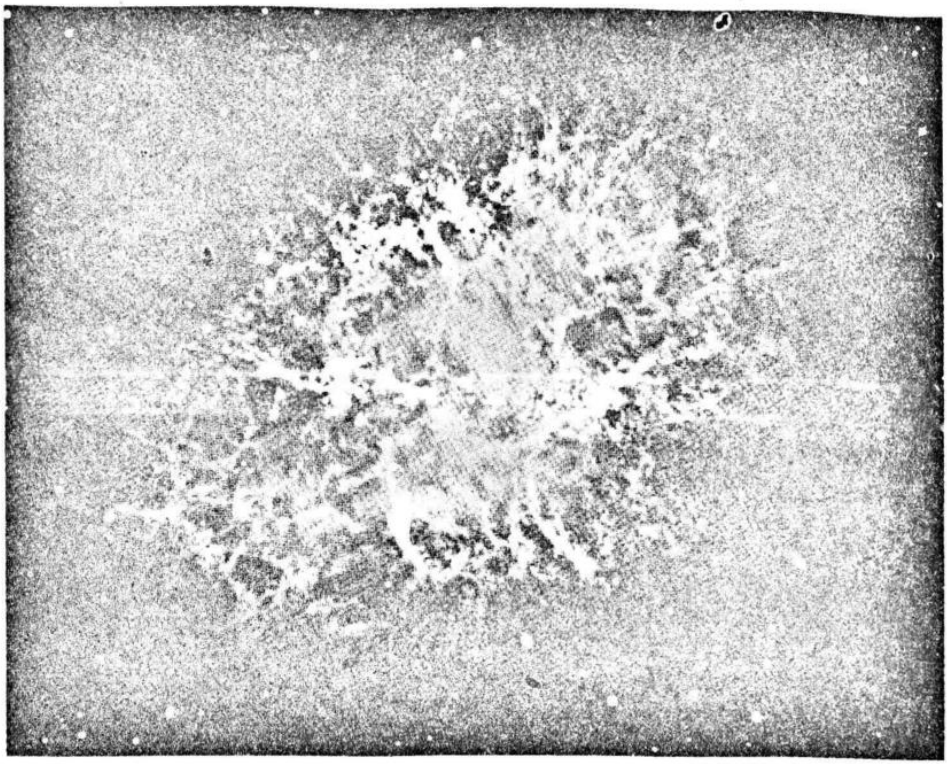
Bu süreç içinde muazzam sorunlarla karşılaşılmakta ve başarının henüz çok uzağında olunduğu görülmektedir, ama olası yararlar da muazzamdır, çünkü böylelikle neredeyse sınırsız ve "temiz" bir enerji kaynağı elde edebiliriz. Bu olağanüstü yararların ışığında ve kökten nitelikte sayılabilecek engellerin yokluğunda, hükümetlerinden destek sağlayan bilimciler ve teknokratlar araştırmalarını sürdürmektedirler. Asıl sorun, plazmayı oluşturabilmektir. Özdeksel hiç bir kap, plazma içinde ortaya çıkan koşullarınüstesinden gelebilecek gibi görünmemektedir. Bu nedenle plazma, ya manyetik alan içine konmalıdır, ya da henüz keşfedilmemiş başka bir yol bulunmalıdır.

Öte yandan, patlayıcı ısılçekirdek tepkimeleri ya da yaygın adıyla ısılçekirdek bombaları, daha açıkçası hidrojen bombaları, taşıdığı yıkım gücü nedeniyle insanlığı bugüne dek eşi benzeri görülmemiş bir tehlike altına sokmuştur. Bir hidrojen bombasında, ilkin sıradan bir atom bombası patlatılarak hafif ögelerden oluşan karışım tutuşturulur. Böylelikle patlatılan hidrojen bombasının gücü de, içindeki özdeğin miktarıyla orantılı olarak artırılabilir.

Yeni gökbilimi, yeni ve önemli kütleçekim etkileri keşfetmektedir. Kütleçekim araştırmaları Newton zamanından Einstein'ın 1916'da gözlemesi zor üç minik etkiyi de öngördüğü genel görelilik kuramına dek oldukça durağandı. Genel görelilik, yıllar boyunca, fiziğin ana dalı dışında kalan sınırlı sayıdaki uzmanın uğraş alanı olarak tanınmıştı, ama şimdi bu durum epeyce değişmiştir. Yıllar geçtikçe "kütleçekimsel ışıma" (=gravitational radiation) üzerine işlik deneyleri tasarlayıp başlatmak olası hale gelmiştir. Kütleler ivmelendirildiğinde açığa çıkan kütleçekimsel ışımayı saptamak çok güçtür, çünkü yeğinliği çok küçüktür. Ancak büyük çaplı olaylar meydana geldiğinde, yeryüzündeki aygıtlarla saptamaya yetecek kadar ışıma uzaya yayılmaktadır.

Gök gözlemcileri, göğün öteki harikalarının yanısıra güneşle kıyaslanabilir kütleye sahip olmasına karşın birkaç kilometrelik yarıçapı olan nesneler görmüştür. Bunların yoğunluğu yaklaşık 10^{14} gm/cm^3 kadardır, çünkü sadece çekirdeksel özdekten oluşmaktadır. Bu değeri kavramak için şu örneğin yararlı olabileceği kanısındayım; elektronlarından soyulmuş bir damla su büyüklüğündeki saf çekirdeksel özdeğin ağırlığı, ağzına dek dolu yaklaşık 500 büyük tankerin ağırlığına eşit olurdu. Bu yıldızların asıl yapıtaşları, nötronlardır, içlerinde elektron ve protonlar çok azdır. 1934'den bu yana Landau, Oppenheimer ve onların öğrencileri, nötron yıldızlarının varlıklarını öngörmüş ve çeşitli özelliklerini hesaplamışlardır.

Eğer bir nötron yıldızı, belli bir sınır yoğunluğunu aşacak olursa içindeki ışınım basıncı kütlesel çekimi dengeleyemeceğinden kendi üzerine çöker. Sonrasında ne olacağı ise, hiç mi hiç belirli değildir. Olağanüstü yoğunluk değerlerine erişilmiştir ve kütleçekim alanı herhangi bir ışımanın kaçmasına engel olur. Yıldız, hiçbir ışımanın kaçmasına izin vermeyeceğinden, doğrudan yöntemlerle görülemeyecek olan bir kara deliğe dönüşür. Buna



Resim 13.5 Olağanüstü bir x-ışınları, radyo dalgaları ve ışık kaynağı olan Crab Bulutsusu (=Nebula). İçinde bir 'pulsar', yani inanıldığı üzere, kendi ekseni çevresinde hızla dönen ve bu sırada nabız gibi periyodik olarak değişen ışıma yayan bir nötron yıldızı barındırmaktadır. Bu bulutsu, Çinli gökgözlemcilerince 1054'de gözlenen bir üstünnovanın (=supernova) (Ç.N. 105) kalıntısıdır. (Hale Gözlemevleri.)

karşın, kara delikleri gözlemenin dolaylı yöntemleri de bulunmuştur. Dahası, bunların gerçekten gözlenmiş olduğuna ilişkin çok sağlam belirtiler vardır.

Daha sağlam bir konuyla ilgilenmek isteyenlerin dikkatine, tüm evrene sinmiş olan yaklaşık 2°K'lik sıcaklığa karşılık gelen karacisim ışımasını sunacağım. Bu ışıma, 10^{10} yıl önce, evrenin yaratılışında meydana gelen o müthiş patlamanın - büyük patlama (=bing bang) - kalıntısı olarak yorumlanmaktadır. Büyük patlamadan bu yana, evren genişlemektedir. Gözlemlenen karacisim ışıması, o patlama sırasında açığa çıkan ışımanın

---

(Ç.N. 105) 'Nova' sözcüğü, İtalyanca'da 'yeni' anlamına gelmektedir.

kalıntısıdır.

Yukarıda değindiğim olgular, günümüzde gökbilimini karmaşaya sürükleyen devrimsel olgulardan sadece birkaçıdır. Gökyüzü şimdi, bundan çok değil ancak yirmi otuz yıl öncesinde tümüyle bilinmez olan harikulâde olaylarla dopdolu görünmektedir. Günümüzün gökfizikçileri de, içinde bulundukları hızlı evrimleşme aşaması nedeniyle 1930'lardaki çekirdek fizikçilerini andırmaktadır. Gökfiziği, özünde fizik eğitimi görmüş birçok genç ve dinç bilimciyi, bu alanda harcadıkları çaba karşılığında hiçbir uygulamalı yarar sağlayamayacaklarını bile bile, kendine çekmeyi sürdürmektedir (Resim 13.5).

Molekülsel yaşambilimin, savaş sonrası dönemde ortaya çıkan en ilgi çekici ve en uzak erimli bilimsel süreç olduğu rahatlıkla ileri sürülebilir. Yaşambilim açısından bu süreç, fizikteki paketçik devinbiliminin bulunup geliştirilmesini andırmakta ve uzak bir geleceğe dek bizi yönlendireceğe benzemektedir. Apaçık ortada olduğu üzere molekülsel yaşambilim fizik değildir, ama değeri Corbino'nun 1929'daki konuşmasında vurgulandığı üzere, daha o yıllarda çok iyi kavranmıştır: "Teknikleri üst üste çakıştırmış olmak yerine, yeni fiziğin durumuyla biyolojik durumu aynı beyinde birleştirmiş olmak evladır."

Gerçekten de bu alanın büyük önderleri fizik eğitimi görmüş ve meslek yaşamlarına fizikçi olarak başlamışlardı. Molekülsel yaşambilimin simgesi olan Resim 13.6'daki fotoğrafta, Francis Crick ile James Watson'un yaşambilimin en derin birçok sorunun aydınlatmada yararlandıkları o ünlü ikili sarmal görülmektedir. İkili sarmalı araştırabilmek amacıyla Crick ve Watson önce yaşambilimin temellerini öğrenmek zorunda kalmışlardı. Sonra da, bu bilgileri paketçik devinbilim ile yakından ilintili olan kimyasal bağ (=chemical bond) bilgisi, izci araştırmaları ve x-ışını araştırmalarıyla bağdaştırmak zorundalardı. Böylece bilim ve teknolojinin birbirinden farklı birçok dalı bu konu için biraraya gelmişlerdi.

Şaşkın Bilimci

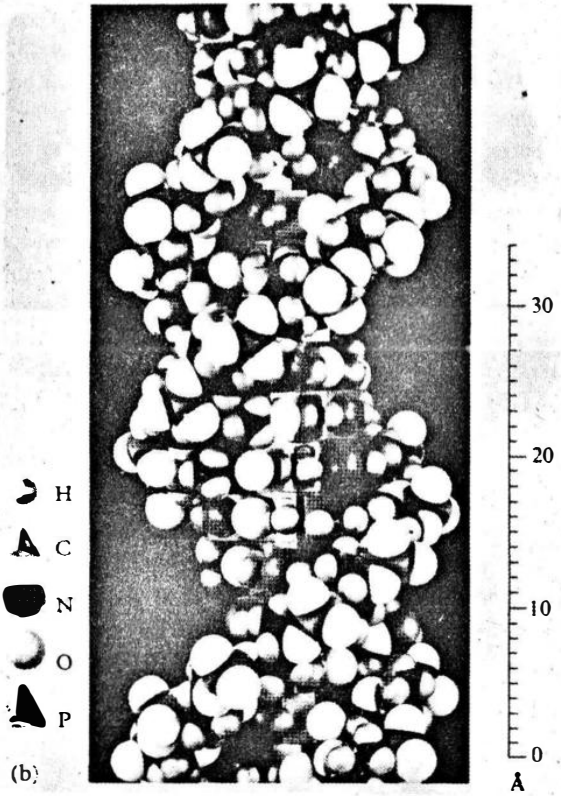
Şimdiye dek, çağdaş fiziğin çeşitli akımlarına kısaca değindim. Tümünün d eiçeriğini kavrayabilmek için çok üst düzeyde bir bilgi birikimi gerekmektedir. Gerçi bu özellikleri, bu alanların araştırmacılarına çekici gelmiş olabilir ama, insan koşulları üzerinde yarattıkları etkiler de yabana atılmamalıdır. Fizik için birinci dereceden öneme sahip olsalar da, son günlerin en sıcak tartışma konularından biri olan bu etkiler, fiziğin sınırlarından taşarak çok ötelere gider. Bu tür sorunların fizikçileri hemen hiç ilgilendirmediğini biliyor olmama karşın, ileride bu konuya kısaca geri döneceğim.

Bilimin teknoloji üzerindeki etkisi yalın bir konudur, ama çoğu kez inanıldığı kadar da yalın değildir doğrusu. Bilimsel buluşların yeni teknolojilere ya da ticimsel ürünlere dönüştürülmesi, zaman, sermaye, yetenekle birlikte uygun pazar ve uygun endüstriyel çevreler de gerektirir. Bununla birlikte, bütün bunların üzerinde, bilimcilerin kişilikleri ve onları yönlendiren etmenlerin, mucitlerinkinden tümüyle farklı olduğunu da sanıyorum. Edison ve Marconi'de baskın olan etmenlerin, Einstein ya da Bohr'dan söz etmeye gerek yok, J. J.

Resim 13 .6 (a) M. H. F. Wilkins'in işliğinde Rosalind Franklin'in X-ışınlarıyla çektiği DNA'nın girişim fotoğrafı. James Watson ve Francis Crick bu fotoğraftan yararlanarak DNA'nın ikili sarmal yapıda olduğuna ilişkin ipuçları bulmuşlardı. (Kaynak; M. H. F. Wilkins, Hekimlik Araştırmaları Kurulu, Yaşambilim Birimi, Kings College, Londra.)

Thomson ya da Hertz'e egemen olanlara hemen hiç benzemediğine inanıyorum. Birçok fizikçi, teknolojik gelişmelerin kökünde yer almış olmasına karşın, buluşlarının teknolojik evresinde de yer almış olanlar ya pek azdır ya da hiç yoktur.

Teknolojiyi bilimle beslemeninin çağdaş yolu, geçen yüzyılın başındakinden çok farklıdır. Şimdi artık kalabalık gruplar sağlıklı işlikliklerde sorunları çözmeye uğraşmakta ve maddi gelirleri de başarılarıyla sınırlı kalmamaktadır. Grup üyeleri, iyi eğitim görmüş ve bir örgütlenme içinde takım çalışmasına uyum gösterebilecek olanlar arasından seçilmektedir. Bu durumun, orta derecede öğrenim görmüş ve çalışmalarını tümüyle kendi kaynaklarına dayalı olarak sürdürmüş olan Edison ve Marconi gibi bireysel mucitler döneminden epeyce farklı olduğu apaçık ortadadır. O dönemde ne patentler ne de onlar için mutlak gerekli olan para desteği sağlayabilecekleri herhangi bir işleri vardı, ama yıllar boyu kendi kişisel gayretleriyle bütün bunların üstesinden gelmeyi başarmışlardı. Bilim ile endüstrinin karşılıklı etkileşmesi son derece ilginç bir konu olsa da, bu kitabın kapsamı dışında kalmaktadır.



Bu yüzyıl başında, bilimsel araştırmaların örgütlenmesinde meydana gelen değişiklikler, havanın fethedilmesiyle uzayın fethinin kıyaslanmasına çarpıcı bir biçimde benzemektedir. İlki, kendi bireysel yeterlilikleri çerçevesinde geliştirebildikleri yöntemleri kullanan mucitlerce başarılmışken, ikincisi tümüyle bilimsel yöntemler kullanan uzmanlarca başarılmıştır. Ortaya çıkan en çarpıcı sonuçlardan biri, uçmaya çalışırken can verenlerin sayısı yanında uzay kazalarında ölenlerin sayısının çok küçük kalmasıdır. Bu yaşamsal farkın en önemli nedeni, öncü havacıların nasıl uçulabileceği konusunda en temel kavrayıştan bile yoksun olmalarına karşın, astronotların arkasındaki tasarımcıların uzay macerasına atılınmadan önce gerekecek herşeyi önceden hesaplayıp sınayabilme olanağına sahip olmasıdır.

Uzayın fethi, endüstri devriminin belirgin eğilimlerinin en uç örneklerindendir. Ağırlıkla, eğitim düzeylerinden çok maharetleriyle öne çıkmış mucit, sanatçı ve yükleniciler (=entrepreneur, mütehahhit) sayesinde on yedinci yüzyılın sonunda başlamıştır. Sonra da, ikinci endüstri devrimi sırasında, temelde üniversite bilimcilerinden pek farklı olmayan personeli ile güncel bilimi yakından izleyen araştırma işliklerinin egemenliğinde daha da gelişmiştir.

Şimdi gelin, bilimin insan koşullarını nasıl etkilediğine geri dönelim. Üzerinde çok çeşitli kitapların yazıldığı bu konuyu birkaç paragraf içinde tartışmaya çalışmak densizlik gibi görünebilir, ama bu eski sorun hakkında Piere Curie'nin sayfa 42'de alıntıladığımız sözlerini anımsayabiliriz.

Bazı noktalar bana apaçık görünüyor: Herşeyden önce, bilim insanın gücüne güç katmaktadır. Bazı gelişmelerin (hiç değilse yaklaşık olarak) kavranmasına da olanak sağlamaktadır. Ama gelgelelim, hem bireysel hem de devlet düzeyinde karar alma süreçleri, bilim değil, niye böyle olduğunu pek anlayamadığım bulanık etkenler tarafından dikte edilmektedir. Bunlar tümüyle akıl dışıdır, olasılıkla davranışsal ve evrimsel dürtüler ya da bilinçaltındaki şeytanlar tarafından güdülenmektedir. Bu yüzden de sözünü edegeldiğimiz davranış süreçleri, dışarıdan bakan birine, tümüyle akıl dışı ve sonuçları bakımından da yıkıcı görünmektedir. Silahlanma yarışı, göze en çok batan örnektir. Bilimin insanı güçlü kılması bu aptalca kovalamacayı daha da tehlikeli hale getirmekte, bu yüzden yeryüzündeki canlı türlerin geleceği de tehlikeye atılmış olmaktadır. Luddiler'in (Ç.N. 106) tepkisinin avukatlığını yapanlar bilime son verip insanın yetenekleri sayesinde kötülük yapmasını önlemek istediklerini söylemişlerdir. Bu yoldan bir çözüm sağlayabilmek için, eğer sağlanabilirse, ki buna hiç inanmıyorum, çok geç kalınmıştır. Üstelik, merakı boğmanın derin insansal güdülerle uzlaşmayacağına da eminim. İcat ve keşiflerin korkusuyla, beynin kullanılmasını önlemek hiç de insanlık yararına olmayacaktır. Dante Alighieri'nin, benzer sözleri Ulyses'in ağzından şöyle söylemişti:

Considerata la vostra semenza;
Fatti non foste a viver come bruti
Ma per seguir virtute e conoscenza.

[Çocuklarını, torunlarını düşün
hayvanca yaşamak için değil,
bilgi ve gerçeği kovalamak için yaratıldın.]

(Ne var ki, Ulysses'in kendi öğütlerini tutmaya çalışması, onu ve yol arkadaşlarını felakete sürüklemiştir.)

Bir gün gelip insanların akıl gücünü, karar almada kullanmayı başaracaklarını dile getirmek, aşırı iyimserlik ve belki de Pangloscu bir bakış açısı sayılabilir. Çerçi, bu iyimser görüş hakkında çok da umutlu değilim doğrusu, çünkü, en azından önümüzde, insan aklının

(Ç.N. 106) 19. yüzyılda İngiltere'de işlerini yitirmelerine yol açan dokuma tezgahlarını tahrip etmek üzere örgütlenmiş zenaatçılara verilen ad.

bu denli değişmesine yetecek kadar uzun bir zaman olmayabilir.Öyleyse ne yapacağız? Özellikle de, biz bilimciler ne yapmalıyız? Halka, belli bazı konuları sürekli anımsatmayı sürdürmeliyiz. Bunu da dürüstlükle ve akıllıca yapmalıyız.

Politika, ekonomi ve toplumsal davranışların, bilim gibi ele alınamayacağını, bu konularda nesnelliği tutturmanın, ne yazık ki, çok zor olduğunu biliyorum. Konuların karmaşıklığı, eldeki verilerin doğası, onları ayrı ayrı ele almanın olanaksızlığı, sonsuz basitlikteki fiziksel bilimlerle uğraşmanın niteliksel farklılığı, bilimsel yöntemlerin birey ve toplumsal sorunlara uygulayabilmenin önündeki engellerden sadece bir kaçıdır.

Bilimciler, kendi ilgi alanlarındaki iyice özelleşmiş bilgiye sahip olmalarına karşın, başka konularda, başka herkes gibi karanlık güçlerin kurbanı haline gelmektedir. Eğitim ve öğrenimi bazı akıl dışı güdüleriyle başa çıkmasına yardımcı olsa bile, nesnelliğe bağlı ve halk üstü sakin bilimci görüşü yanıltıcıdır. Bu gerçek bilimciler ve halk tarafından iyice kavranmalıdır. Bilimciler, gizemli bir dinin papazları değildir.

Sıradan insanları bilgilendirme görevinden kaçınmaması gerekliliğine karşın, buluşlarının hangi amaçlarla kullanıldığının sorumluluğunu bilimcilerin sırtına yüklemek dürüstlük sayılamaz. Bilimciler, buluşlarının nasıl kullanılacağını belirleyebilecek güce sahip değildir ve aslında güç ile sorumluluğun birbirinden ayrılmaması gereklidir. Bütün bunların üstüne, tüm buluşların çok değişik amaçlarla kullanılabileceği de apaçık ortadadır, bazıları bize iyi görünür bazıları da kötü. Bu gerçek, uygarlığın başlangıcından beri bilinmektedir -öz konusu ikilemin bir simgesi, çelikten saban da kılıç da yapılabilir olmasıdır. Yakın zamanlarda ise, penisilin ve DDT son derece doğru bir biçimde insanlık için nimet olarak değerlendirilmişti, ama rasgele kullanımları dolaylı yollardan korkunç sonuçlara yol açmıştır. Çekirdek enerjisi de öyle, insanlık için büyük bir olanak olabileceği gibi, yıkımına da neden olabilir. Seçim ise, bilimcilerin ellerinde değildir.

14

Sonuçlar

Kitabı bitirmeden bazı sonuçlara yer vermek istiyorum. Herşeyden önce, incelememizden herkes için geçerli genel bir "fizikçi" portresi çıkarılamayacağı kanısındayım. Fizikçiler arasında ortak kişilik özellikleri bulmanın zor olduğu, fiziğin her yöndeki ilerlemesine yapılan katkıların çokluğu düşünüldüğünde, şaşırtıcı gelmeyecektir. Uç örnekler olarak E. O. Lawrence ve P. A. M. Dirac'ı gösterebiliriz; küçük bir kıyaslama bile aralarındaki zıtlığı açığa vuracaktır, bununla birlikte, her ikisinin de fiziğin gelişmesindeki yerleri önemliydi. İki büyük yıldız - Rutherford ve Einstein - birbiriyle bilimsel tartışmalar yaparken ciddi sorunlarla karşılaşırlardı herhalde. İlgileri, kültürleri ve bilimsel imgelemleri çok farklıydı. Rutherford'a, Maxwell denklemlerinin Lorentz dönüşümleri altında değişmez kalmasının önemini hissettirmek ne denli zorsa, Einstein'ın çekirdek bozunmalarını gözlemek için gerekli olan teknik ayrıntılarla ilgilenmesini sağlamak da o denli zordu.

Önemli fizikçilerin ortak kişilik özelliklerinden birkaçını mutlaka belirtmek zorunda kalsaydık, olağanüstü çalışabilme yeteneği ve çalışma isteği, dayanıklılık, iyimserlik ve bilimsel imgelem gücünden söz ederdik. Ama bunlar atletten şaire, bankacıdan generale dek hemen her meslekte başarılı olmak için gereken niteliklerdir zaten. İrdeleme yeteneği ve kuramsal imgelem gibi zihinsel yetenekler bazılarında çok gelişmiş bazılarında ise daha alçakgönüllü boyutlarda kalmıştır. Bazı fizikçiler evrenseldir, bazıları dar bir alanın uzmanıdır. H. A. Lorentz gibi bir kişilik, aralarında diplomatik ve işadamlığı da bulunmak üzere hemen her alanda başarı sağlardı. Ama, Pauli kuramsal fizikçi olmaktan başka ne yapabilirdi? Sonuç olarak; bütün yollar Roma'ya çıkabilir, ama kuşkusuz, bütün yollar Roma'ya çıkmak zorunda değildir.

Bilimsel buluşlarda şansın önemli bir rolü vardır, gerçekten de şansa ağırlık tanımaya yetecek kadar çok sayıda eşzamanlı yapılmış buluş vardır. İçinde çalışılan anın tarihselliği ise, çok daha önemlidir. Verimli yıllar vardır, kısır yıllar vardır. Üstelik, bilimsel iler-

lemlerin kendi iç mantığı varmış gibi görünmektedir. Dolayısıyla da, kişilere duyulan güvenin tapınmaya dek vardırılmaması gerekir. Paketçik devinbilimin üçbiçimin birden eşzamanlı bulunuşunu düşünelim. Her birinin tüm unsurları göz önüne alındığında şu akla yakın izlenime ulaşırız; eğer o büyük fizkiçilerden herhangi biri doğmamış olsaydı bile, elli yıl sonra fizik yine aynı noktaya gelirdi.

Geleceğin Eğilimleri

Fiziğin şimdiki durumuna geri dönelim. İlkin, fizik ile uygulamalarını birbirinden ayırt etmemiz gerekir. Uygulamalar, ekonomik ve toplumsal açıdan, saltık fiziğin kendisinden çok daha önemli olabilir, ama burada fizikle ilgileniş nedenim, fiziğin doğal olguların keşif süreci olmasıdır. Bu süreç, açıklamayı, sınıflandırmayı, farklı olgular arasındaki karşılıklı ilintileri ve bunların dar ya da yaygın kapsayıcılıktaki kuramlarda birleştirilmesini içerir.

Bana öyle geliyor ki, parçacık fiziği, henüz çözülmemiş en büyük sorunlarla yüklü alanların başlıcasıdır. Sorunların bazısı neredeyse yüzyıllıktır, çözülebileceklerine ilişkin hiçbir işaret de bulunmadığı için fizikçiler bunları unutma eğilimindedir. Örneğin, elektrik yükünün niçin elektronunkinin hep tam katı olduğunu bilen hiç kimse yoktur. Buradaki *niçin* sözcüğü, bir gerçekle bir başka gerçek arasındaki bağlantı anlamında alınmadır. "Neden" ise, *a* 'nın doğru olması halinde *b*' yi gerektireceğini söyleyen, epeyce yalın bir mantıksal ya da matematiksel çıkarımdır. Elektrik yükünün paketçiklenmesi, başka hiçbir deneysel gerçeklikle bağlantılandırılmış değildir; bu anlamda öncesi olmayan bir deneysel veridir.

Ögesel parçacık fiziğinin öteki temel ve formüle edilmesi basit olmasına karşın çözümü bulunmamış problemlerinden ikisi, nükleonların ve leptonların korunumuna ilişkindir. Nükleon korunumu basitçe, kapalı bir sistem ya da örneğin tüm evrendeki toplam proton sayısıyla toplam nötron sayısının sabit kalması demektir. Hesaplamaya, kuşkusuz, karşıt protonlarla karşıt nötronları sayılarını eksi birle çarparak katmak gerekir. Nükleon korunumunun doğruluğuna ilişkin en sağlam dayanak, protonların 10^{22} yıllık, yani evren yaşının 10^{12} katına eşit bir ortalama ömre sahip olmasıdır. Yine de, nükleon korunumunun temelinde yatan, protonların böylesine müthiş dengeli olmaları gerçeğinin nereden kaynaklandığı sorusu yanıtlan(a)madan durmaktadır. Benzer bir korunum ilkesi, yine bilinmeyen kaynağıyla birlikte, leptonlar için geçerlidir. Ayrıca; elektronların ve müyonların kendi özel nötrinoları vardır. Bu iki tür nötrino birbirinden kesinlikle ayrıdır çünkü müyon nötrinosu bir nötronla çarpıştığında bir müyonla bir proton üretir ama bir elektronla bir proton üretmez, buna karşın bir elektron nötrinosu bir nötronla çarpıştığında bir elektronla bir proton üretir ama bir müyonla bir proton üretmez. Müyon nötrinosuyla elektron nötrinosu arasındaki ayrımı sağlayan nedir? Elektronlar gibi müyonlar da Dirac denklemince, denkleme dışarıdan giren bir parametre olarak kütle terimi dışında tamı tamına benzer biçimde betimlenir. Doğa niçin, birbirinin tıpatıp aynısı ama sadece kütleleri farklı parçacıklar yaratmayı seçmişti? Yukarıdakiler hep açıklanmamış ya da bağlantılandırılmamış ger-

çeklerdir. Son zamanlarda da, bir üçüncü lepton τ bulunmuştur. Bu, sadece beş on tanelik (yoksa sonsuz mu?) bir leptonlar dizisinin başlangıcı mıdır?

Bağlantılı ya da "açıklanmış" olgulara verilebilecek örnekler momentumun ya da çizgisel momentumun korunumudur. Bu olguların, uzayın türdeşliği ve her yönde aynılığının (homogeity and isotropy) matematiksel sonuçları olduğunu göstermek olasıdır ve bu anlamda birşey bir başka şeyi açıklamaktadır. Birbirinden bağımsız "koyutların" sayısını azaltmaya yarayan ve estetik açıdan doyurucu olan derin bağlantıları açığa çıkardıkça büyük ilerleme sağlanabilir. *Koyut* sözcüğünü tırnak içine almamın nedeni, fizik ve matematikteki anlamlarının farklı oluşudur (Ç.N. 107). Matematikte bir koyut, uslamlama dizisinin gerekli bir öncli olup çoğunluk rasgele seçilirken, fizikte hiç istisnasız birçok kez gözlenmiş deneysel bir gerçekliktir özünde. Matematiksel koyutlar, asıl olarak insan aklının yaratısı olduğundan büyük çoğunlukla rasgeledir. Fiziksel koyutlar ise, gözleme, dışuyarlamaya ve ikincil olarak da estetik değerlendirmeye dayanır. Öklitsel olmayan (=non-Euclidean) geometrinin birçok biçimi kurulabilir, ama deneylerle uyuşmayan bir fizik, fizik sayılmaz.

Bununla birlikte, deneyler her zaman üstün duyarlıklı değildir ve hatalardan etkilenir: dolayısıyla, yorumlanmaları hep bir soyutlama ve ülküselleştirme işlemi içerir. Fizikçiler nasıl ilerleyebileceklerini, zaman içinde öğrenmişlerdir. Bu sırada ardı ardına yaklaşıklıklar kullanmaya ve kuramlarının uygulanabileceği alanları sınırlamaya da alışkanlık kazanmışlardır. En yaygın tanınan örnek Newtoncu devinbilim ile bunun daha gelişkin biçimleri olan görelilik ile paketçik devinbilimidir. Fiziğin "koyutları" ne olursa olsun, deneyimli fizikçilerin aklında çok aşırı kuşkulara yol açmazlar. Yine de bu, ne gerçekçi deneycilerin uğraş alanlarındaki bilgibilimsel (=epistemological) sorunları yoksaydıkları, ne de en eleştirel kuramcıların bilgibilimsel sorunlar yüzünden uğraşlarından soğudukları anlamına gelmez. Bilimciler, bu sorunlarla birlikte yaşamayı öğrenmişlerdir; Bohr bile şakayollu, yüzeysel bir doğrunun tersinin yanlış, ama derin bir doğrunun tersinin yine doğru olduğunu söylemişti...

Bütün bunlardan sonra gelin, yukarıda sözü edilen ögesel parçacık fiziğinin basit gizlerine geri dönelim. Çeşitli kuramların birleştirilmelerine yönelik girişimler ve bazı yanıtların ipuçlarının bulunmuş olduğunu hemen söylemeliyim. Bunların en kapsamlılarından biri S. Weinberg ve Abdus Salam tarafından birbirlerinden bağımsız olarak 1967-1968 yıllarında başlatılmıştı . Amaç, elektromanyetikle zayıf etkileşmeyi birleştirmekti. Bir yüzyıl öncesinde Maxwell'in üstün çabaları sonunda elektrikle mıknatıslığın birleştirilmesi başarılmıştı; bu son girişimle aynı başarıya yine ulaşılabilirdi. Şimdiye dek yapılan deneylerle, söz konusu kuram arasında uyuşmazlık görülmemiştir. Ayrıca, yüksüz zayıf akımların ve tılsımlı kuarkların keşfedilmesi de bu yaklaşımın başarısına destek sağ-

---

(Ç.N. 107) Bu nedenle de, 'hypothesis' ile 'postulate' ve 'assumption', hatta 'premise' sözcüklerinin Türkçe'deki karşılıkları birbirine sıkça karıştırılır. Elinizdeki kitapta aynı hataya düşmekten, hiç değilse çelişik kullanımdan kaçınılmaya çalışılmıştır.

lamıştır. Bazı önemli sınamalarsa, şimdikinden daha yüksek enerji değerlerine çıkıldığında olanaklı hale gelecektir: Zayıf etkileşmelerin paketçikleri olup hafif ışık paketçiklerine benzeyen ve ara bozonlar denilen bazı yeni parçacıkların bulunması gerekmektedir. Çok ağır olduklarından, ancak çok yüksek enerjilerde elde edilmeleri beklenmektedir. Keşfedilmeleri, bu tür eğilimlere güçlü bir destek sağlayacaktır.

Fiziğin başka alanlarında, kılgısal açıdan ögesel parçacıklarınkinden daha önemli ve daha ilginç birçok sorun vardır, ama henüz çözülmemiş olsalar bile, çözümlerinin Schrödinger denkleminde dolaylı yoldan içerildiğine inanılmaktadır. Mermer blokların içinde de nice heykel vardır kuşkusuz. Asıl sorun, sadece fazlalıkları kesip atabilmektir. Mikelanj'ın bu görüşünü açıkladığı koşuğu (=sonnet) şakadan çok felsefesel bir anlam taşımaktadır.

Çok cisimli sistemlere ilişkin temel kuramsal tekniklerin de çözüm gerektiren kimi sorunları vardır. Bunlar çözüldüğünde sıvılar, çekirdeksel özdek ve benzeri başka konuları kavrayışımızda büyük ilerlemeler sağlanabilir, dahası, şaşırtıcı bir biçimde bu alandan parçacık fiziğine pencereler bile açılabilir. Bu sorunlar kendi içlerinde önemli olsalar da, - yeni bir kuvvet türünün bulunuşu ya da eşdeğerliğin korunmayışı gibi - parçacık fiziğinde gördüğümüzün benzeri sarsıcı devrimleri, ben kendi adıma, daha çok cisim kuramlarından beklemiyorum. Yanılıyor da olabilirim. Kanımca, temel buluşlar parçacık fiziğinden kaynaklanacaktır. Bu öznel bir kanıdır ve bilimsel politika üzerinde derin sonuçlar yaratabileceğinden, bu kanının herkes tarafından paylaşılmadığını vurgulamak isterim.

Yüksek enerjiler gerektiren parçacık fiziği alanında, maliyet ve deneysel karmaşa dehşet verici boyutlara ulaşmıştır. Bunun sonucunda ise, giderek daha uzun süre tutan, ama daha az sayıda deney yapılabilir olmuştur. Deneyler ucuzken, hayal gücü geniş fizikçiler düşüncelerini geliştirip, dilledikleri kadar deney yapabiliyorlardı. Büyük Faraday'ın işlik defterinde 10.000'den fazla deney sıralanmıştı. Yüksek enerji fiziğinde, bir deney milyonlarca dolara mal olduğu ve düzinelerce deneyciye gerek duyulduğu son beş yıl içinde ancak birkaç deney yapılabilmiştir. Deneyciler kaçınılmaz olarak çok farklı türde sorunlarla yüz yüze kalmaktadır. Çoğu kez, ne yapılacağına bir takım komiteler karar vermekte, ama bu komitelerin hayal gücüne de çok zorlukla güven duyulmaktadır. Kesin ve elle tutulur sonuçlar verecek deneyler yeğlenmekte, böylelikle işin maceracılık yanı törpülenmektedir. Fizikçiler de, bu süreç içinde ilgilerini el atılmamış enerji bölgelerinden tanıdık bildik bölgelere kaydırıp orada kısıtlı tutmak zorunda kalmakta, tersini yapmak saflık sayılmaktadır çünkü, sonuçları apaçık belli olan deneylere yöneltilmektedirler. Bir keresinde, böyle deneyleri üzerindeki silahların erim uzaklığının belirleyici rol oynayabildiği savaş gemileri arasındaki çağdaş deniz savaşlarına benzetmiştim; oysa Lord Nelson (Ç.N. 108) zamanında amiraller nasıl da gizemli taktiksel sezgilere sahip olmak zorundalardı. Her ne ise, "savaş gemisi deneyleri" çok büyük sürprizlere yol açmış ve gelişmede yaşamsal roller oynamışlardır.

(Ç.N. 108) Sir Horatio Nelson (1758-1805), Napolyon'a karşı giriştiği ve ölümüne rağmen savaş öncesi tasarladığı taktiklerle zafere ulaşan Trafalgar savaşıyla ünlü İngiliz amiral.

Eğer ulaşılması amaçlanan deneysel bilginin türü yeterince açık seçikse, onu elde etmede karşılaşılacak güçlükler tümüyle yöntemseldir; bu yüzden fizikçiler çabalarının büyük bir bölümünü, sonuçların bilgisayarda irdelenmesiyle birlikte, aygıt ve yöntemlerin geliştirilmesine ayırmak zorunda kalmaktadırlar. Yeni bir aygıt geliştirilir geliştirilmez, onunla yapılabilecek tüm deneylere öncelik tanınmaktadır. Bunların tümü mantıklı görünüp önemli sonuçlara yol açmış olabilirler, ama fizikçiler de gelenekselmiş olandan mümkün olduğunca uzaklaşmak zorundadırlar.

Sözcüklerle oynama esnekliğinin tadına vararak, şunları söylemek isterim; artıkRutherford olmak yetmemekte, Ruther-Ford olmak gerekmektedir, bu demektir ki, fizikçiler artık en azından sanayicilerin de işadamlarının da bazı özelliklerine sahip olmak zorundadırlar. Geçmişte birçok fizikçi, insan ilişkilerindeki başarısızlıkları ya da utangaçlıkları nedeniyle bilime yönelmişlerdi (Curiler, bunun örneğidir).Bugün ise, insanlara duyulan ilgi temel neden olabilmektedir (örneğin, E. O. Lawrence). Bunların tümü, hikaye sanılmamalıdır, Faraday ya da Röntgen gibi yalnız araştırmacıların soyu giderek tükenmektedir.

Fizik gibi öteki bilimlerin tümüne sinmiş bir başka eğilim ise, uzmanlaşmadır. Fizik alanındaki yayınların ve fizikçilerin sayısında, daha önce hiç görülmedik ölçüde artan uzmanlaşmayla birlikte müthiş bir patlama da vardır. Bu kaçınmamız gereken, ama kaçınılmaz olan bir olumsuzluktur. Fiziğin daha dar, yalın ve daha tümleşik olduğu günlere tanıklık edenlerin, o günlere hasret (=nostalgia) duymasını olağan saymalıyız. Ne var ki, eğilimler tersine çevrilemez.

$$y = \frac{Q dm}{2\pi r^3 \sin\phi \, . \, d\phi} = \frac{ntb^2 \, . \, Q \, . \, \mathrm{cosec}^4 \, \phi/2}{16 r^3} \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

(a)

Resim 14.1 (a) "Saymadaki ve tüm deneysel çalışmalarındaki yardımları nedeniyle Bay W. Kay'a müteşekkirim." (Profesör Ernest Rutherford, Nisan 1919.)
(b) "Bu deneyin tasarına ve ilk bölümlerine katılan Profesör J. Steinberg ile desteğini ve cesaretlendirmesini esirgemeyen Profesör W. Paul, P. Preiswerk ve K. Faissner'e teşekkür etmek isteriz. Olguların Luciole'deki ölçümlerini olası kılan Dr. P. Zanella ile Bay J. Daub'a, yardımlarından dolayı müteşekkiriz. Dr. L. Caneschi, deneyin yürütülmesine yardım etmişti. Saptama aygıtının yapımı, Bayan F. Blynthe, K. Bussmann, J. M. Fillot ve G. Maratori olmaksızın başarılamazdı. Son olarak da, yavaş proton ışınlarını kurup çalıştıran Dr. G. Petrucci'ye, CPS personeline ve özellikle Dr. L. Hoffman'a teşekkürü borç biliriz.")A. Bohm, P. Darriulat, C. Grosso, V. Kaftarev, K. Kleinknecht, H. K. Lynch, C. Rubbia, H. Ticho ve K. Tittel, 30 Mayıs 1968.)

Söz konusu eğilim, Rutherford'un ilk çekirdek bozunumlarını araştırdığı işliği gösteren Resim 3.5 ile, Fermi işliğini gösteren Resim 11.11'in karşılaştırılmasıyla daha iyi anlaşılır. Her iki biçimde yapılmış deneyler ilkede aynıdır. Dahası, bu sorun, J. D. Jackson'ın çağdaş bir bağıntıyla (Resim 14.1b) Rutherford bağıntısını (Resim 14.1a) şaka yollu kıyasladığı bir örnekten de anlaşılabileceği üzere, salt deneyle sınırlı değildir. İkincisi daha ünlü olsa da, ilki, daha çok çağdaş bir çalışmanın tipik örneği sayılmaktadır.

Giderek artan bu karmaşa fiziğin sınırlarını da çizebilir. Şimdiye dek gözlediğimiz giderek büyüyen enerji boyutuna karşılık giderek küçülen büyüklük ölçütüdür; atomlar, çekirdekler, piyon gibi çekirdekaltı parçacıklar ve kuarklar. Kuarklar hakkında kendi içinde tutarlı bir kuram oluşturulabilirse de zincirin orada sona ereceğini hiç sanmıyorum.

Eğer durum böyleyse, bir sonraki adım için daha çok para ve daha çok çaba harcanması gerekecektir. Buna karşılık, süreç yine de ıraksayabilir ve sonunda, sonu tamamlanmadan havada asılı kalmış bir halkayla başbaşa kalabiliriz. Buradaki sınırı ise, insanların sonuca ulaşıp ulaşamayacaklarını asla bilmeden araştırmaya ayırabilecekleri ya da ayırmayı istedikleri çaba belirleyecektir.

Bu bölümü bir saptamayla sona erdirmek istiyorum, anlık algısal deneyimden uzaklaşmaya ve soyutlamaya yönelik eğilim sadece fizikle sınırlı değildir; tersine, modern düşüncenin ve sanatın belirgin bir özelliği gibi görünmektedir (Resim 14.2). Curieler'in döneminde zamanın ressamları, öznelleştirerek de olsa gerçeği yansıtıyorlardı. Paketçik devinbilimin geliştirildiği sıralarda, gerçeklik de sanatçıların kafasında değişikliğe uğ-

$$\frac{d\sigma}{dt} = \frac{1}{4\pi(s-m^2)^2}\Bigg[\frac{|\sin\theta_t|^2(1+\cos2\varphi_\gamma)|t-(Y+m)^2||t|^{-1}|\gamma_{\frac{1}{2}\frac{1}{2}}{}^R|^2(s/s_0)^{2(\alpha_R-1)}\alpha_R{}^2}{|\Gamma(\alpha+1)\sin\frac{1}{2}\pi\alpha_R|^2} + (1-\cos2\varphi_\gamma)$$

$$\times|\sin\theta_t|^2(t-m_K{}^2)^2|t-(m-Y)^2|\Bigg(\frac{(\alpha_\varepsilon{}^2|t|^{-1}|\gamma_{\frac{1}{2}\frac{1}{2}}{}^\varepsilon|^2(s/s_0)^{2(\alpha_\varepsilon-1)}}{|\Gamma(\alpha_\varepsilon+1)\sin\frac{1}{2}\pi\alpha_\varepsilon|^2} + \frac{\alpha_V{}^2|t|^{-1}|\gamma_{\frac{1}{2}\frac{1}{2}}{}^V|^2(s/s_0)^{2(\alpha_V-1)}}{|\Gamma(\alpha_V+1)\cos\frac{1}{2}\pi\alpha_V|^2}$$

$$+\frac{\alpha_T{}^2|t|^{-1}|\gamma_{\frac{1}{2}\frac{1}{2}}{}^T|^2(s/s_0)^{2(\alpha_T-1)}}{|\Gamma(\alpha_T+1)\sin\frac{1}{2}\pi\alpha_T|^2} + \frac{2\alpha_\varepsilon\alpha_V\sin\frac{1}{2}\pi(\alpha_V-\alpha_\varepsilon)\gamma_{\frac{1}{2}\frac{1}{2}}{}^\varepsilon\gamma_{\frac{1}{2}\frac{1}{2}}{}^V(s/s_0)^{\alpha_\varepsilon+\alpha_V-2}}{|\Gamma(\alpha_\varepsilon+1)\Gamma(\alpha_V+1)\sin\frac{1}{2}\pi\alpha_\varepsilon\cos\frac{1}{2}\pi\alpha_V|}$$

$$+\frac{2\alpha_\varepsilon\alpha_T\gamma_{\frac{1}{2}\frac{1}{2}}{}^\varepsilon\gamma_{\frac{1}{2}\frac{1}{2}}{}^T\cos\frac{1}{2}\pi(\alpha_T-\alpha_\varepsilon)(s/s_0)^{\alpha_\varepsilon+\alpha_T-2}}{|\Gamma(\alpha_\varepsilon+1)\Gamma(\alpha_T+1)\sin\frac{1}{2}\pi\alpha_\varepsilon\sin\frac{1}{2}\pi\alpha_T|}\Bigg) + (1+\cos^2\theta_t-\cos2\varphi_\gamma\sin^2\theta_t)$$

$$\times\frac{\alpha_K{}^2|t-(m+Y)^2||t^{-1}|\gamma_{\frac{1}{2}-\frac{1}{2}}{}^K|^2(s/s_0)^{2(\alpha_K-1)}}{|\Gamma(\alpha_K+1)\sin\frac{1}{2}\pi\alpha_K|^2} + (1+\cos^2\theta_t+\cos2\varphi_\gamma\sin^2\theta_t)(t-m_K{}^2)^2$$

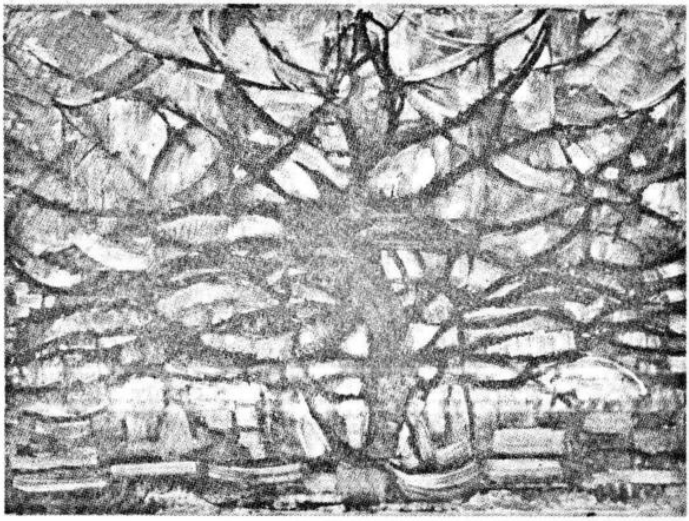
$$\times|t-(m-Y)|^2\Bigg(\frac{|\gamma_{\frac{1}{2}-\frac{1}{2}}{}^\varepsilon|^2(s/s_0)^{2(\alpha_\varepsilon-1)}\alpha_\varepsilon{}^2|t|^{-2}}{|\Gamma(\alpha_\varepsilon+1)\sin\frac{1}{2}\pi\alpha_\varepsilon|} + \frac{\alpha_V{}^2|\gamma_{\frac{1}{2}-\frac{1}{2}}{}^V|^2(s/s_0)^{2(\alpha_V-1)}}{|\Gamma(\alpha_V+1)\cos\frac{1}{2}\pi\alpha_V|} + \frac{\alpha_T{}^2|\gamma_{\frac{1}{2}-\frac{1}{2}}{}^T|^2(s/s_0)^{2(\alpha_T-1)}}{|\Gamma(\alpha_T+1)\sin\frac{1}{2}\pi\alpha_T|^2} + 2\sin\tfrac{1}{2}\pi$$

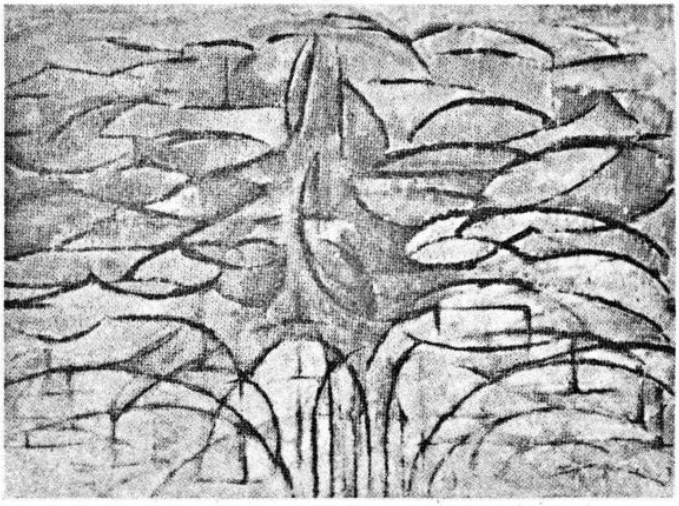
$$\times(\alpha_V-\alpha_\varepsilon)|t|^{-1}\frac{\gamma_{\frac{1}{2}-\frac{1}{2}}{}^\varepsilon\gamma_{\frac{1}{2}-\frac{1}{2}}{}^V(s/s_0)^{\alpha_\varepsilon+\alpha_V-2}}{|\Gamma(\alpha_\varepsilon+1)\Gamma(\alpha_V+1)\sin\frac{1}{2}\pi\alpha_\varepsilon\cos\frac{1}{2}\pi\alpha_V|} + \frac{2\cos\frac{1}{2}\pi(\alpha_T-\alpha_\varepsilon)\ \gamma_{\frac{1}{2}-\frac{1}{2}}{}^\varepsilon\gamma_{\frac{1}{2}-\frac{1}{2}}{}^T(s/s_0)^{\alpha_\varepsilon+\alpha_T-2}}{|\Gamma(\alpha_\varepsilon+1)\Gamma(\alpha_T+1)\sin\frac{1}{2}\pi\alpha_\varepsilon\cos\frac{1}{2}\pi\alpha_V|}\Bigg) + 4\cos\theta_t(t-m_K{}^2)$$

$$\times\Big[(t-(m+Y)^2][t-(m-Y)^2]|t^{1/2}\gamma_{\frac{1}{2}-\frac{1}{2}}{}^K(s/s_0)^{\alpha_K-1}\alpha_K{}^2\Bigg(\frac{\Gamma^{-1}\gamma_{\frac{1}{2}-\frac{1}{2}}{}^\varepsilon\alpha_\varepsilon\cos\frac{1}{2}\pi(\alpha_R-\alpha_\varepsilon)(s/s_0)^{\alpha_\varepsilon-1}}{|\sin\frac{1}{2}\pi\alpha_\varepsilon\Gamma(\alpha_\varepsilon+1)\Gamma(\alpha_K+1)\sin\frac{1}{2}\pi\alpha_K|}$$

$$+\frac{\Gamma^{-1}\sin\frac{1}{2}\pi(\alpha_V-\alpha_\varepsilon)\alpha_V\gamma_{\frac{1}{2}-\frac{1}{2}}{}^V(s/s_0)^{\alpha_V-1}}{|\Gamma(\alpha_K+1)\Gamma(\alpha_V+1)\sin\frac{1}{2}\pi\alpha_K\cos\frac{1}{2}\pi\alpha_V|} + \frac{\Gamma^{-1}\alpha_T\gamma_{\frac{1}{2}-\frac{1}{2}}{}^T\cos\frac{1}{2}\pi(\alpha_K-\alpha_T)(s/s_0)^{\alpha_T-1}}{|\Gamma(\alpha_T+1)\Gamma(\alpha_K+1)\sin\frac{1}{2}\pi\alpha_K\sin\frac{1}{2}\pi\alpha_V|}\Bigg)\Big]. \quad (75)$$

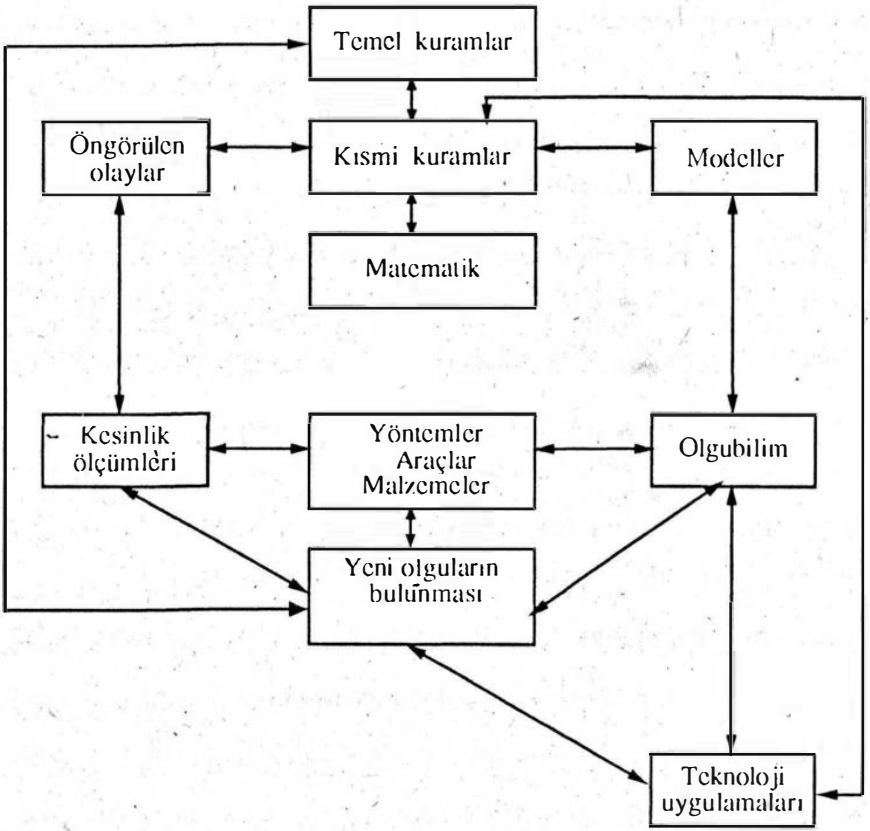
(b)





Resim 14.2 Sanat alanındaki soyutlama eğilimi, yirminci yüzyıl fiziğindeki gelişmelere de koşut olarak egemenlik kurmuş gibiydi. (a) P. Modrian'ın (1872-1944) yaptığı *Gri Ağaç* adlı tabloda ağacın biçimi, figüratif bir çalışma olmamasına karşın apaçık fark edilmektedir. (b) Modrian'ın 1912'de yaptığı *Çiçekli Elma Ağacı* tablosu. Ağacın biçimi yok olup, yerini

ramaktaydı. Biri tanecikseł öteki de dalgasal değildi gerçi, ama Picasso kadınları iki yüzlü olarak resimliyordu. Resimlerin artık tümüyle soyut olması gibi, fizikteki bağıntılar da anlık değil derin anlamlar taşır olmuştur.



Resim 14.3 "Fiziği" oluşturan değişik parçalar, karşılıklı bağımlılık açısından canlı bir yaratığa benzer. Karşılıklı bağımlılığa sahip çok karmaşık ve zaman içinde evrimleşen bir sistemdir.

Fiziğin İçgizleri

Bilimin yapısı ve evrimi açısından yaşayan bir yaratığa benzetmekten kendimi alıkoyamıyorum. Benzerliğin temelinde, bilimsel sistemin karmaşası yatmaktadır. Sadece fiziği düşünerek konuyu yalınlaştıralım. Kuram ve deney, fiziğin temel ögeleridir ve aralarında sürekli bir alış veriş vardır. Deney için de, maddi yönden araç ve tekniğe, entellektüel düzeyde ise amaç ve düşüncelere gerek vardır. Teknik gereksinme, sonuçta yine bilim tarafından sürekli olarak zenginleştirilen teknoloji ile bağlantı kurulmasını sağlar. Amaçlara duyulan gereksinme ise kuramla bağlantı kurulmasına yol açar. Kuramın, doğrulunu sürekli olarak deneyin sağladığı bir denetim olanağı ve bir tartışma konusu olmasaydı verimli bir uğraş alanı olmaktan çıkardı. Dahası, kuram da matematikgibi özel

araçlara gereksinme duyar. Matematik ise, uzun bir süre fizikten esinlenmiş, bu sırada raslantısal olarak ortaya çıkan ve uygulama kayguşu bulunmayan soyut kuramlar bile, şaşırtıcı bir biçimde fizikte uygulama olanağı bulmuştu. Bu tabloya, giderek fiziğin tümüyle yeni bölümlerine dönüşebilen dallanmalara yol açan ve yaşambilimdeki değişinim (=mutation) benzeri bir rol oynayan, şans eseri gerçekleşmiş keşifleri de yerleştirmeliyiz. Bütün bunlar, sonunda canlının var olan organlarıyla bağlantılı oldukları için, canlıda değişikliklere yol açarlar.

Bu karşılıklı ilintileri simgesel olarak Resim 14.3'de göstermeye çalıştım. Kutuların her birini, canlı varlığın bir organı olarak düşünüyorum. Herhangi biri kesildiğinde canlının sakatlanması ya da ölmesi kaçınılmazdır. Neyse, bu kadar benzerlik yeter. Her kutunun doğruluğunu, çok büyük sayıda bu kitapta bulunabilecek gerçek olaylardan derlenmiş örneklerle kanıtlayabiliriz.

Yukarıda çizilen çerçevenin karmaşıklığı, onca farklı insanın nasıl olup da fiziğin gelişimine bu denli büyük katkılar yaptığı konusunda küçük de olsa bir merak uyandırabilir. Her etkileşim farklı kişilikteki insanlarca yürütülmekte ve böylece her türlü insan için verimli bir çalışma olasılığı doğmaktadır.

Bir canlı varlığa benzeyiş ise, evrimi de kapsamaktadır. Salt araştırma konuları değil, fiziğin felsefesi de zamanla değişmektedir ve en derin katmanlarda bile böyle olmayı sürdürdüğüne inanmak için her türlü gerekçe vardır. Galileo, Newton ve Einstein'ın, türlerinin son örnekleri olduğuna hiç inanmıyorum.

Ekbilgi 1

Stefan Yasası; Wien Yasası

$u(T) = aT^4$ biçimindeki Stefan yasası, basitçe ısıldinamikten ve ışıma basıncı p ile u (T) arasındaki $p = u(T) / 3$ bağıntısından gelir. Bu bağıntı, elektromanyetikte geçerli olan Maxwell denklemlerinin sonucudur.

Isıldinamiğin ilk ilkesi olan

$$dQ = dU + p\,dV$$

bağıntısındaki $U = u(T)\,V$ ışımanın toplam iç enerjisi, V oylum ve Q verilen ısıdır.

İkinci ilke $dS = dQ / T$ olup, bir tam türevseldir. Birinci ve ikinci ilkelerin birleşiminin sonucu olan $dS = [u\,dV + V\,du + (u / 3)dV] / T$ bağıntısı, T ve V ye bağlı bir tam türevseldir. Dolayısıyla

$$\frac{\partial^2 S}{\partial T \partial V} = \frac{1}{T}\,\frac{d\,u\,(T)}{dT} = \frac{4}{3}\,\frac{d\,(u/T)}{dT}$$

Bu bağıntıdan kolayca $du / dT = 4u / T$ bağıntısını elde ederiz, yani

$$u\,(T) = aT^4$$

Wien, ayrıntılı bir ısıldinamik irdeleme içinde, kara ışınımın tam yansıtıcı bir pistonla sıkıştırılmasını ele alarak şu bağıntıyı bulmuştu

$$u(\nu, T) = \nu^3 f(\nu / T)$$

Stefan yasasını elde etmek için, Wien yasısının $d\nu$ üzerinden integralini almak gerekir. $u(\nu, T)$'nin ν'ye göre türevi alınırsa, verilen herhangi bir sıcaklık altında $u(\nu, T)$ 'nin maksimum değeri elde edilir. Wien yasasını kullanarak $3f(\nu / T) = (\nu / T) f'(\nu / T)$ elde ederiz. Maksimum, ν / T'nin belli bir sayısal değerine karşılık gelir. Ya da λ ve T değişken olarak alınıp $u(\lambda, T)\, d\lambda$ hesaplanarak λT için benzer bir değer bulunur. Bu özellik bazen yerine geçme (=displacement) adıyla anılır. $u(\nu, T)$ için Planck bağıntısını kullanarak, $\nu_m / T = 5.88 \times 10^{10}$ (ν çevrinme / sn, T ise derece Kelvin cinsinden) elde edilir.

Ekbilgi 2

Planck'ın Karacisim Işıması Formülü İçin Avlanması

Planck, ilk olarak, karacisimin duvarlarını oluşturan salınıcıların $\langle E \rangle$ ortalama enerjisi ile ışıma yoğunluğu arasındaki ilintiyi ortaya koymuştu. Isıldinamikten yola çıkarak şu bağıntıyı elde etmişti

$$u(\nu, T) = \frac{8\pi\nu^2}{c^2} \langle E \rangle \qquad (1)$$

Planck, bir salınıcı için ortalama entropiyi de ele almış ve şu bağıntıya uyduğunu gös-

$$dS = \frac{d\langle E \rangle}{T} \qquad (2)$$

termişti

Wien'in ortaya koyduğu v e deneylerle desteklenmekte olduğu görülen

$$u(\nu, T) = A\nu^3 \exp(-\beta\nu / T) \qquad (3)$$

$$\frac{dS}{d\langle E\rangle} = \frac{1}{T} = \frac{1}{\beta\nu} \log \frac{8\ \langle E\rangle}{Ac^3\nu} \qquad (4)$$

ve bunun ikinci türevini alarak

$$\frac{d^2S}{d\langle E\rangle^2} = -\frac{1}{\beta\nu\langle E\rangle} \qquad (5)$$

sonucuna ulaşırız. Bu sonuçlar, Denklem (3)'ü $1/T$ için çözerek ve Denklem (1) ile (2)'yi kullanarak elde edilmiştir.

Öte yandan, Rayleigh-Jeans bağıntısını elde etmek için, şu işlem aşamalarını izlemeliyiz; $\langle E\rangle = kT$ ve

$$\frac{dS}{d\langle E\rangle} = \frac{1}{T} = \frac{k}{\langle E\rangle} \qquad (6)$$

$$\frac{d^2S}{d\langle E\rangle^2} = -\frac{k}{\langle E\rangle^2} \qquad (7) \quad d$$

Deneyler bu bağıntıların hiçbirinin doğru olmadığını, ama herbirinin belli bir sınır koşulunda geçerli olduğunu göstermiştir. Dolayısıyla $\langle E\rangle << k\beta\nu$ için de Denklem (5) ile çakışan bir içuyarlama yapmamız gerekir. Bu yüzden $d^2S/d\langle E\rangle^2$ için, şu uygun sınır değerlerini veren bir içuyarlama bağıntısı uygulayacağız

$$\frac{d^2S}{d\langle E\rangle^2} = \frac{-1}{\beta\nu\langle E\rangle + \langle E\rangle^2/k} \qquad (8)$$

Bu bağıntının doğru olduğunu varsayarak, $d\langle E\rangle$ üzerinden integralini alacağız

$$\frac{dS}{d\langle E\rangle} = \frac{1}{\beta\nu} \log \frac{k\beta\langle E\rangle}{1 + k\beta\langle E\rangle} = \frac{1}{T} \qquad (9)$$

Burada, $T \rightarrow \infty$ için $\langle E \rangle$ 'nin de sonsuza gittiğine ilişkin sınır koşulunu kullandık. Şimdi artık Denklem. 9'u $\langle E \rangle$ için çözebiliriz ve sonucu Denklem (1)'deki yerine koyup $h/k = \beta$ tanımını kullanarak şu bağıntıyı elde edebiliriz:

$$\langle E \rangle = \frac{k\beta\nu}{e^{\beta\nu/T} - 1} \qquad (10)$$

Bu bağıntıyı da Denklem (1)'de yerine koyduğumuzda

$$u(\nu,T) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \cdot \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1} \qquad (11)$$

eşitliği bulunur.

Ekbilgi 3

Einstein'ın Işık Paketçiğinin Varlığını Öngörmeye Yolaçan Varsayımları

Enerji yoğunluğu $u(\nu, T)d\nu$'ye benzer bir biçimde karacisim için bir $\varphi(\nu, T)d\nu$ entropi yoğunluğu tanımlayabiliriz. Isıldinamik yardımıyla şu bağıntıyı elde edebiliriz

Wien'in ışıma bağıntısı kullanarak

$$\frac{d\varphi(\nu, T)}{du(\nu, T)} = \frac{1}{T} \qquad (1)$$

$$u(\nu, T) = A\nu^3 e^{-h\nu/kT} \qquad (2)$$

bağıntısı, bu da $1/T$ için çözülerek

bağıntısı, bunun da intagrali alınarak

$$\frac{1}{T} = \frac{k}{h\nu} \log \frac{u}{A\nu^3} = \frac{d\varphi}{du} \qquad (3)$$

eşitliği elde edilir.

$$\varphi(u,\nu) = -\frac{ku}{h\nu}\left[\log \frac{u}{A\nu^3} - 1\right]$$

Bu bağıntıların eldesi sırasında yürüttüğümüz Planck uslamlaması (Ekbilgi 2) Eins-

tein'dan önce de biliniyordu. Şimdi karacisimin oylumunda, toplam enerjiyi değiştirmeyen bir değişiklik olduğunu düşünelim. Bu durum, $u\ (\nu\ T\ )V\ = U\ (\nu\ ,\ T\ )$ teriminin değişmeden kalmasını gerektirir. $d\nu$ frek ans aralığındaki entropi

$$dS\ = \varphi\ (\nu,\ T)\ V d\nu\ = -\frac{kU}{h\nu}\left[\log\ \frac{u}{AV\nu^3} - 1\right] d\nu \qquad (4)$$

Sınırlı bir oylum değişikliği için, U ' yu sabit tutarak, şu bağıntıyı elde ederiz:

$$d(S - S_0) = \frac{kU}{h\nu}\ log\ \frac{V}{V_0}\ d\nu \qquad (5)$$

Isıldinamiğe göre, n tane tek atomdan oluşan bir mükemmel gaz içindeki enerjiyi koruyarak meydana gelen genişlemenin yol açtığı entropi değişikliği şöyle olacaktır:

$$S - S_0 = nk\ \log\ \frac{V}{V_0} \qquad (6)$$

Bu bağıntı da Boltzmann'ın

$$S = k \log W$$

bağıntısına kolayca bağlanabilir, çünkü bir atom için V_0 oylumun V'lik bölümünde bulunma olasılığı $V\ /\ V_0$ 'dır. Birbirinden bağımsız n tane atom için aynı olasılık $(V\ /\ V_0)^n$ olacaktır, buradan da Denklem (6)'ya geçilir.

Denklem (5) ve (6), şu varsayım altında, birbirinin tıpatıp aynısı olur;

$$U\ d\nu\ = n\ h\ \nu$$

Bunun anlamı ise, enerjinin $d\nu$ frekans aralığında $\varepsilon = h\ \nu$ yeğinliğindeki n paketçiğe bölündüğüdür.

Ekbilgi 4

Browncil Devinim

Yarıçapı a ve kütlesi m olan bir parçacık, T sıcaklığındaki bir sıvı içinde yüzmektedir. Sıvının molekülleri bu parçacığı küçük itkilerle bazen sağa bazen sola oynatmaktadır. Parçacık, devinimi ortalama olarak sıvının yapışkanlığı tarafından soğrulacak kadar iridir. Öyleyse parçacığın devinimi temelde rasgele yürüyüşe benzemektedir, sağa atılan adımlarla sola atılan adımların olasılığı aynıdır.

Herbiri λ uzunluğundaki N adımın yerdeğiştirme kare ortalamasına (=average square displacement) $\langle x^2 \rangle$ denirse, temel istatistiğe göre

$$\langle x^2 \rangle = \lambda^2 N \qquad (1)$$

bağıntısı elde edilir. Parçacığın ortalama hızı v ise, t süresi içinde atılan adımların sayısı

$$N = v\,t\,/\,\lambda \qquad (2)$$

olacaktır.

v hızı, enerjinin eşbölüşümünden (=equipartition) elde edilebilir;

$$m\,v^2\,/\,2 = 3\,k\,T\,/\,2 \qquad (3)$$

λ uzunluğu, yapışkanlık kuvvetinin parçacığın kinetik enerjisine eşit bir iş yaptığı varsayılarak çıkarsanabilir. Parçacık, herhangi bir yönde λ kadar ilerlemişse hızını yitirmiş ve herşeye yeniden başlamanın öncesinde bulunuyor demektir. Stokes yasası yapışkanlık için şu bağıntıyı verir;

$$F = 6\pi a \eta v$$

burada η sıvının yapışkanlık katsayısıdır. Buradan şu bağıntılara geçilir;

$$6\pi a \eta v \lambda = 3kT/2 \quad \text{ya da} \quad \lambda = \frac{kT}{4\pi a \eta v}$$

Bu bağıntı ve Denklem (1), (2), (3) kullanılarak, kabaca

$$\langle x^2 \rangle = \frac{kT}{4\pi a \eta} t$$

elde edilir. Einstein'ın, daha ince bir irdeleme sonucunda elde ettiği bağıntı ise şöyledir:

$$\langle x^2 \rangle = \frac{kT}{3\pi a \eta} t$$

Ekbilgi 5

Einstein'a Göre Karacisim Enerji Değişimleri

E enerjisine sahip yalıtık bir sistemi ele alıp iki parçaya ayıralım. Enerjileri E_1 ve E_2, entropileri şu koşulları sağlar $E_1 + E_2 = E$ ve $S_1 + S_2 = S$. Bu niceliklerin, sistemdeki herşeyin dengede olduğu zamanki değerlerini E_1^0, E_2^0, S_1^0, S_2^0 ile gösterelim bir de şöyle bir tanımlama yapalım $E_1 - E_1^0 = \varepsilon = E_2^0 - E_2$. Ayrıca sistemin 1. parçasının 2. parçadan daha küçük olduğunu varsayalım.

Entropiyi üstel (=power) diziyle ε cinsinden açalım

$$S = S_1 + S_2 = S_1^0 + S_2^0 + \left(\frac{\partial S_1}{\partial E_1} - \frac{\partial S_2}{\partial E_2}\right)\varepsilon + \left(\frac{\partial^2 S_1}{\partial E_1^2} + \frac{\partial^2 S_2}{\partial E_2^2}\right)\varepsilon^2 + \ldots$$

Denge koşulları altında entropinin değeri en büyüktür ve bu yüzden ε'un katsayısı sıfır olur. Bu koşulun anlamı ise şudur;

$$\frac{\partial S_1}{\partial E_1} = \frac{\partial S_2}{\partial E_2} = \text{const.} = \frac{1}{T_1} = \frac{1}{T_2}$$

sıcaklığın tanımı olan ($\partial S / \partial E = 1 / T$) bağıntısı kullanılarak iki parçanın da aynı sıcaklıkta bulunduğu gösterilmiştir.

Öte yandan;

$$\Delta S_1 = S_1 - S_1^0 = \frac{\partial^2 S}{\partial E_1^2}\varepsilon^2 = \frac{d\frac{1}{T_1}}{dE_1}\varepsilon^2 = -\frac{1}{T^2}\frac{dT}{dE_1}\varepsilon^2 = -\frac{\varepsilon^2}{T^2 C_{v,1}}$$

Burada, 2. parçanın 1. parçadan daha büyük olduğunun ve dolayısıyla ısı sığasının da daha büyük olacağı gerçeğini kullandık. 1. parçanın ısı sığası şöyle tanımlanır; $dE_1 / dT_1 = C_{v,1}$.

Sondaki (1) indeksini gereksiz kalacağı, (yani bağıntılar biçimsel olarak hem 1. parça hem de 2. parça için aynı olacağından) kaldırabiliriz.

Boltzmann'ın entropi ve olasılık arasındaki bağıntısı, olasılığı ε yeğinliğine sahip enerji değişmeleri cinsinden şöyle betimler,

$$W_{(\varepsilon)} = e^{-\Delta S/k} = e^{-\varepsilon^2/kT^2 C_v}$$

ve $\langle \varepsilon^2 \rangle$ için de;

$$\langle \varepsilon^2 \rangle = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \varepsilon^2 W(\varepsilon)\, d\varepsilon}{\int_{-\infty}^{\infty} W(\varepsilon)\, d\varepsilon}$$

Bu standard integrallerin değeri hesaplandıktan sonra, şu bağıntı elde edilir;

$$\langle \varepsilon^2 \rangle = k T^2 C_v \qquad (1)$$

Bu sonuç, Einstein'ın 1903 makalesinde yer almaktadır. Bunu şimdi karacisim ışımasına uygulayacağız. V oylumu ve $\Delta\nu$ frekans aralığındaki E enerjisi, Planck bağıntısınca belirlenmiştir. T 'ye göre türevini alıp bulduğumuz C_v değerini Denklem (1)'de yerine koyarak şu bağıntıyı elde ediyoruz;

$$\langle \varepsilon^2 \rangle = V\Delta\nu \left(u(\nu,T) h\nu + \frac{c^3 u^2(\nu, T)}{8\pi\nu^2} \right)$$

İlk terim V $\Delta\nu u$ $(\nu, T)\, h\nu$, V oylumu ve $\Delta\nu$ frekans aralığı içindeki $h\nu$ ile çarpılmış E toplam enerjisidir. Eğer enerji $h\nu$'lik paketçiklere bölünmüşse, oylumda $E/h\nu = n$ tane paketçik var demektir. Bu durumda enerjinin karesindeki değişme şu değere eşit olur, $\langle \varepsilon^2 \rangle = n\,(h\nu)^2$. Bu sonuç en uçsal taneciklilği yansıtır ve Wien yasasının yaklaşığı olarak elde edilir. İkinci terim dalga girişiminin sonucudur ve Rayleigh-Jeans yasasının yaklaşığı olarak elde edilir.

Ekbilgi 6

Einstein'a Göre Katıların Özısıları

Dulong ve Petit yasası en kolay, bir mol katı öge içinde A (Avogadro sayısı) tane harmonik salınıcı bulunduğu varsayılarak anlaşılabilir. Enerjinin eşdağılımı, her salınıcıya 3kT /2 değerinde devinim enerjisi yükler. Her salınıcının sahip olduğu ortalama potansiyel enerji de, harmonik salınıcılar için devinim enerjisine eşittir. Dolayısıyla bir mol içindeki

$$E = 3\,kAT = 3\,RT$$

ve molar ısı da $dE / dT = 3\,R$ ' dır.

Salınıcılar paketlenmişse, her özgürlük ölçütü için ortalama devinim enerjisi

$$E = \frac{kT \sum_{n=0}^{\infty} nxe^{-nx}}{\sum_{n=0}^{\infty} e^{-nx}} = kT \frac{x}{e^x - 1}$$

bağıntısıyla gösterilebilir. Burada $x = h\nu / kT$ alınmıştır. Bu bağıntı, daha önce Ekbilgi 2, Denklem.10'da yer almıştı.

Bu durumda, katının molar ısısı şöyle bulunur.

$$C = \frac{dE}{dT} = 3\,R \frac{x^2 e^x}{(e^x - 1)^2}$$

Bu bağıntı, deneylerle oldukça iyi uyuşmaktadır, ama özellikle ν frekansı yerine tüm frekans tayfını kapsamasının sağlanarak daha da geliştirilmesi gerekmektedir.

P. Debye, böyle bir tayfı hesaba katarak daha iyi bir yaklaşıklık elde etmiştir.

Ekbilgi 7

Einstein'ın A ve B'si

İki paketçik düzeyine, r ve s, sahip bir sistemi ele alalım. Bu sistemin kara ışıma alan (=black radiation field) yoğunluğu $u\ (\nu, T)$ olsun. s düzeyindeki sistem sayısı n_s ve r düzeyindeki sistem sayısı n_r olsun. Boltzmann, çok önceleri, ısıl denge içindeki n_s / n_r oranını hesaplamıştı

$$\frac{n_s}{n_r} = e^{-(E_s - E_r)/kT}$$

İstatistik devinbilimin bu temel yasasının bir başka adı Boltzmann yasasıdır.

s durumundaki bir sistemin r durumuna kendiliğinden düşme olasılığı, her birim zaman için A olsun. Aynı sistemin r durumuna ışıma tarafından itilme (ışıma yoğunluğuna orantılı olarak) olasılığı da, her birim zaman için $B\,u\ (\nu, T)$ olacaktır. Benzer biçimde, r durumundaki bir sistemin, ışıma tarafından s durumuna itilme olasığı, her birim zaman için $C\,u\ (\nu, T)$ olacaktır. Enerji $(E_s - E_r)$ bölü h değeri, yayınan ve paketçik görüşüne göre geçiş (=transition) tarafından soğrulan ışımanın frekansını verir. Bu, aynı zamanda, hesaplayacağımız $u\ (\nu, T)$ yoğunluğundaki frekanstır. Denge içindeyken, her iki yöndeki geçiş sayısının aynı olması gereklidir. Öyle ise , şu bağıntı sağlanmalıdır.

$$n_r\, C\, u\,(\nu, T) = n_s\,[A + B\,u\,(\nu, T)]$$

Boltzmann yasası ile denge koşulunu birleştirerek, şu bağıntıyı elde ederiz:

$$\exp[-(E_s - E_r) / kT] \cdot [A + Bu(\nu, T)] = Cu(\nu, T)$$

T sonsuza giderken, $u(\nu, T)$ de giderek büyür, $A << B\,u(\nu, T)$ ve $\exp[-(E_s - E_r) / kT] = 1$ dolayısıyla da $B = C$ olur; bu durumda, son denklemi $u(\nu, T)$ için çözerek

$$u(\nu, T) = \frac{A/B}{e^{-(E_s - E_r)/kT} - 1}$$

Wien'in ısıldinamik yasası gereği olarak $u(\nu, T) = \nu^3 f(\nu / T)$ bağıntısı her sistem için geçerlidir. Buradan, $(E_s - E_r)$ enerji farkının ν 'ya; A / B 'nin ise ν^3'e orantılı olduğu sonucunu çıkarabiliriz. Böylelikle de $(E_s - E_r) = h\nu$ bağıntısı için olağanüstü bir doğrulama sağlarız. $h\nu << kT$ koşulu için u deyimi (=expression) $u = AkT / Bh\nu$ deyimine yaklaşıklıkla eşit olur, bu da Rayleigh-Jeans bağıntısı olan $u = 8\pi\nu^2 kT / c^3$ ile çakışmak zorundadır. Bu zorunluluk da, $A / B = 8\pi h\nu^3 / c^3$ orantısını belirler. Böylece, Planck yasasını tam olarak elde ederiz. Bu oran, paketçik devinbilim kullanılarak özel bir örnek üzerinde de hesaplanabilir.

Ekbilgi 8

J. J. Thomson'un İyonların *e / m* 'sini Bulmak İçin Parabol Yöntemi

J. J. Thomson'un yöntemleriyle üretilen iyonlar, olağanüstü farklı hızlara sahiptir. Şimdi bu farklılıktan yararlanarak *e/m* 'yi belirlemek amacıyla nasıl yeni bir yöntem geliştirildiğini göreceğiz.

Thomson, elektrik ve manyetik alan tarafından sağlanan dikey sapmalardan yararlanmıştı. z yönünde v hızıyla giden bir iyon, her ikisi de x yönünde olan E elektrik ve B manyetik alanlarının etkisi altında ise iyon üstündeki Lorentz kuvveti şöyle olur

$$\mathbf{F} = e\,\mathbf{E} + e/c\,\mathbf{B} \times \mathbf{v} \qquad (1)$$

Bu kuvveti bileşenlerine ayıracak olursak

$$F_x = eE \qquad F_y = e/c\,B\,v \qquad (2)$$

karşılık gelen ivmeler $\mathbf{F}/m = a$ bağıntısından bulunarak z eksenine dik bir düzlem içindeki sapmalar şöylece elde edilir:

$$x = \frac{eE}{m}\,\frac{t^2}{2} = \frac{eE}{m} \cdot \frac{A}{2v^2} \qquad (3)$$

$$y = \frac{eBv}{mc}\,\frac{t^2}{2} = \frac{eB}{mc} \cdot \frac{A'}{2v} \qquad (4)$$

Burada A v A' aracın geometrisine bağlı katsayılardır. Denklem (3) ve (4) den şu bağıntıyı elde ederiz

$$y^2 = \frac{e}{m} \frac{B^2 A'^2}{2Ec^2 A} x = kx$$

Ekbilgi 9

Bohr'un Hidrojen Atomu

e artı yüküyle bir elekronu durgunelektriksel kuvvetle çeken ve bir sonsuz kütle merkezinden oluşan atomu ele alalım. Yörüngeleri, bir odağında (sonsuz kütleli) çekirdeğin bulunduğu keplersi elipslerdir. Konuyu yalınlaştırmak için sadece çembersel yörüngeleri ele alacağız. Elektronun kütlesi m, hızı v, açısal hızı ω ve çekirdekten uzaklığıda r olsun. Merkezkaç kuvvet ile Coulomb çekimi şu koşulda dengelenir;

$$\frac{mv^2}{r} = m\omega^2 r = \frac{e^2}{r^2} \qquad (1)$$

Çekirdek kütlesi sonlu ise, yukarıdaki denklemde, m yerine $M\ m\ /\ (M + m)$ (indirgenmiş kütle) ve çekirdek Ze yüküne sahip ise e yerine Z e konmalıdır. Bundan böyle, m indirgenmiş kütle yerine kullanılıyor olsun.

Sistem enerjisinin sıfırı, elektronun çekirdekten sonsuz uzaklıkta ve duruyor olmasına karşılık gelmesi üzerinde uzlaşılmıştır. Bu uzlaşımla bir yörüngenin enerjisi şöylece belirlenir.

$$E = \frac{mv^2}{2} - \frac{Ze^2}{r} = -\left(\frac{Z^2e^4m\omega^2}{8}\right)^{1/3} \qquad (2)$$

Buradan da ilginç bir sonuca ulaşılır;

$$\frac{|E^3|}{\omega^2} = \frac{Z^2e^4m}{8} = \text{const} \qquad (3)$$

1 sayılı yörüngeden 2 sayılı yörüngeye paketçik sıçraması yapabilmek için gereken enerji ışımasının frekansı ise şöyle belirlenir.

$$\nu = \frac{E_1 - E_2}{h} \qquad (4)$$

Balmer bağıntısı

$$\nu = R\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right) \qquad (5)$$

herhangi bir yörünge için, E_1/h değerinin R / n_1^2 'ye eşit olacağı anlamını da içermektedir. Büyük, yani dıştaki yörüngeler için n değeri de büyümekte ve olası en küçük n sıçramaları (birer birer) için, Balmer bağıntısı, klasik değer olan $\omega / 2$ 'ye yakın sonuçlar vermeye başlamaktadır.

Balmer bağıntısının, ν için verdiği yaklaşık

$$\nu = R\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{(n+1)^2}\right) \simeq \frac{2R}{n^3}$$

değeri, Denklem (3)'ü ω için çözerek birleştirip, $|E|$ yerine de hR/n^2 konarak şu biçime dönüştürülür.

$$2\pi\nu = \frac{4\pi R}{n^3} = \left(\frac{8E^3}{Z^2 e^4 m}\right)^{1/2} = \left(\frac{8R^3 h^3}{n^6 Z^2 e^4 m}\right)^{1/2} \qquad (6)$$

İkinci ve üçüncü terimleri eşitleyerek şu bağıntıyı elde ederiz :

$$R = 2\pi m Z^2 e^4 / h^3 \qquad (7)$$

R 'ın bu değerinden ve Denklem (5) 'den şu bağıntıyı elde ederiz.

$$E = -\frac{R\,h}{n^2} = -\frac{2\pi^2 m\, Z^2 e^4}{h^2 n^2} \qquad (8)$$

Eksi değerli enerjiler, bağlı elektronlara karşılık gelir. Klasik anlamda hiperbol biçimli yörüngelere karşılık gelen tüm artı enerji değerleri ise, paketçikli değil süreklidir.

Olası yörüngelerin yarıçapları şu bağıntıyla bulunur:

$$r_n = \frac{h^2 n^2}{4\pi^2 m Z^2 e^2} \qquad (9)$$

Elektronların yörünge hızları $2\ e^2 Z / h n$ değerine eşittir, açısal momentumları ise Denklem (9) ve Denklem (6) yardımıyla bulunan şu değere eşittir.

$$l = \frac{nh}{2\pi} \qquad (10)$$

Açısal momentumun tam sayı değerlerinin $h / 2\pi$ birimiyle ortaya çıkması olası yörüngelerin belirgin özelliğidir ve paketçiklenme koşulu olarak kullanılabilir.

Ekbilgi 10

Fındık Kabuğundaki Paketçik Fiziği

Burada paketçik devinbilimin kavramsal çerçevesinin kısa bir özetini vereceğiz. Görüleceği üzere, açıklamalarımız tam olmadağı gibi, paketçik devinbilimi öğretmek amacı da taşımamaktadır. Konuyu, temel ama daha tam bir düzeyde öğrenmek isteyen okuyucu, çok sayıdaki uygun kitaplardan birine başvurmalıdır. F. Mandl'ın *Quantum Mechanics* adlı kitabı (Londra: Butterworths, 1957) kısa ve kolay anlaşılır bir kitaptır.

Sadece bir özgürlük ölçütü olan bir sistemi ele alalım, koordinatı q ve koordinat, momentum, enerji gibi diğer devinimsel değişkenleri $A, B, \ldots$ olsun. Hemen birbiri ardından şu üç niceliği A, B ve A 'yı ölçelim. İlk ikisi için ölçüm sonuçları a′ ve b′ olsun. Üçüncü nicelik için, A'nın yeniden ölçümü zorunlu olarak hep a′ verebilir. Bu durumda A ve B 'ye 'compatible' nicelikler denir; tersiyse de 'incompatible' nicelikler denir. Sistem üzerinde yeterince ölçüm yaptıktan sonra, bu aşamadan sonraki ölçümler ya öncekilerle 'incompatible' olacak, ya da öncekiler kullanılarak yapılacak kesin hesaplarla elde edilebilir olacaktır. Bu aşamaya eriştiğimizde, sistemin tam bir gözlemini yapıp bitirmiş oluruz. Bir tam gözlem sayesinde, sistemin bir "durum"unu (=state) tanımlayabiliriz.

Her sisteme bağımlı bir $\psi(q, t)$ vardır ve bu nicelik zaman içinde, Schrödinger eşitliğine göre değişme gösterir.

$$H_{op}(p, q)\,\psi(q, t) = \frac{h}{2\pi i}\,\frac{\partial \psi}{\partial t} \qquad (1)$$

Bu eşitlikte $H_{op}(p, q)$, koordinat q ve onun 'conjugate' momentumu p değişkenlerinin bir işlevi olarak ve p yerine $(h / \pi i)(\partial / \partial q)$ değişikliği yapıldıktan sonra enerji deyiminden elde edilen Hamilton işlemcisidir. Örneğin, harmonik salınıcı için potansiyel enerji $kx^2 / 2$ ve devinimsel enerji de $p^2 / 2m$ 'ye eşittir. Bu değerleri Denklem (1)'de yerlerine koyalım.

$$H(p, x)\ \psi(x, t) = \left(-\frac{h^2}{8\pi^2 m}\frac{d^2}{dx^2} \quad \frac{1}{2} \quad kx^2\right)\psi(x, t) = \frac{h}{2\pi i}\frac{\partial\psi(x, t)}{\partial t} \qquad 2)$$

$\psi(q, 0)$ verilmişse, Denklem (1)'in integralini alarak, herhangi bir zamandaki $\psi(x, t)$ değerini hesaplayabiliriz.

Ayrıca, şu varsayımları da yapabiliriz:

1. Fiziksel gözlenebilir bir değer olan $G(q, p)$

$$G_{op}(q, p)\,\varphi_n(q) = g'_n\varphi(q) \qquad (3)$$

eşitliğinin özdeğerlerinden biridir. Özel bir durum olarak enerji için aynı bağıntı

$$H(q, p)\,\psi_n(q) = E_n\,\psi(q) \qquad (4)$$

biçimine dönüşür ki, bu da Schrödinger eşitliğidir. Örneğin, bir salınıcının enerjisi ölçülüp de $\psi_3(x)$ün karşılığı olarak E_3 değeri bulunmuşsa, salınıcımızın konumuyla bağlantılı $\psi(x)$'in $\psi_3(x)$ olduğunu biliriz. Bu durumda ise, E_3 şu değere eşit olur; $(3 + 1/2)\,h\nu$, burada $\nu = (1/2\pi)\sqrt{(k/m)}$.

2. Yukarıda koşul olarak ileri sürüldüğü üzere, sistem konumu $\psi(q, 0)$ ile tanımlanır. $\psi(q, 0)$ Fourier dizisi kullanılarak $G(q, p)$ 'nin özdeğerleri cinsinden şöylece açılabilir

$$\psi(q) = \Sigma\, a_n\,\varphi_n(q) \qquad (5)$$

3. ψ konumundayken G ölçülecek olursa, g'_n özdeğerini bulma olasılığı $|a_n|^2$ değerine sahip olur.

Bu şema bir başka biçimde de açıklanabilir; Hilbert uzayı adlı soyut bir uzayda bir birim uzunluktaki kompleks bir vektör, sistemi tanımlar. Söz konusu uzay sonsuz sayıda boyuta sahip olabilir. Konum vektörleri, Schrödinger denklemi (asıl olarak Denklem (1)) uya-

rınca Hilbert uzayında devinebilirler. Herhangi bir fiziksel niceliğin büyüklüğünü bilmek istediğimizde, Hilbert uzayına eksenler kurmamız gerekir. Eksenlerin türü, ilgilendiğimiz gözlenebilirlerin türüne bağlı olacaktır. Gözlenebilirlerin olası değerleri de eksenlerin büyüklüğünü belirleyecektir. Konum vektörünün, verilen eksenlerden biri üzerindeki izdüşümünün modülüs karesi ise, gözlenebilirin o özel değerini bulma olasılığına eşittir.

Fiziksel bir büyüklüğü ölçmek, konum vektörünü genel olarak bozar ve değişiminde süreksizlik yaratır. Konumun sadece bir gözlemle belirlendiği en basit durumda, ψ konumundaki G 'yi ölçüp g'_n sonucunu bulduğumuzu varsayalım; ölçümden sonra konum artık ψ değil, φ_n olur.

Paketçik devinbilimde ölçüm kuramı uzun tartışmalara yol açmış ve henüz tümüyle sona ermemiştir.

Kaynakça

Genel amaçlı çalışmalar ve sözlükler için *Modern Men of Science* (New York: McGr aw-Hill, 1968) ve C. C. Gillipie, ed. *Dictionary of Scientific Biography* 14 cilt (New York:Scribners, 1970-1976) önerilebilir. Aralarında Ulusal Bilimler Akademisi (=National Academy of Sciences) Washington, D.C. ve Royal Society of London da bulunmak üzere çeşitli akademiler, ölmüş üyelerinin yaşam öykülerini içeren diziler yayınlamaktadır. *Nobel Lectures in Physics* (New York: Elsevier, 1967) ve *Les Prix Nobel* (Stockholm: Norstedt & Söner, 1902-) Nobel Ödülü kazananların ödül törenindeki konuşmalarını ve kısa yaşamöykülerini içermektedir. B. Maglich ed., *Adventures in Experimental Physics* (Princeton, N. J.: *World Science education,* 1972-) ise, önemli buluşlarla buluşu yapanlar hakkındadır. H. A. Boorse ve L. Motz, eds., *The World of the Atom* (New York: Temel Kitaplar, 1966) bolca özyaşamsal notlar içeren bir güldeste (=antoloji)dir. Okuduğunuz kitapta tartışılan birçok önemli özgün çalışmalar için kaynak kitaptır. M. Jammer, *The Conceptual Development of Quantum Mechanics* (New York: McGraw-Hill, 1966) paketçik devinbilimin gelişmesini genel olarak açıklayan mükemmel bir kitaptır. E. Whittaker, *A History of the Theories of Aether and Electricity* (New York: Harper & Bros., 1960) esir ile elektromanyetiğin matemetiksel yönlerini öğrenmede çok yararlı olan ve konunun on dokuzuncu yüzyıla ilişkin bölümünü de kapsayan bir kitaptır.

1: Giriş

On dokuzuncu yüzyıl sonundaki Avrupa'nın kişisel bir görünümünün sergilendiği ilginç ve genel bir tarih bilgisi için B. Tuchman, *The Proud Tower: A Portrait of the World Before the War*, 1890-1914 (New York: Macmillan, 1966)'a başvurulabilir.

Bazı seçkin bilimsel kişilikler için R. T. Glazebrook, *James Clerk Maxwell ve Modern Physics* (Londra: Cassel, 1901); S. P. Thomson, *Life of Lord Kelvin* (Londra: Macmillan, 1910); C. W. F. Everitt, *James Clerk Maxwell :Physicist and Natural Philosopher* (New

York: Scribner, 1975); L. Königsberger, *H. von Helmholtz* (F. A. Welby, trans.) (New York: Dover, 1956); J. Hertz, *Heinrich Hertz* (Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft, 1927); J. W. Gibbs, "*R. J. E. Clausius*," *in Proceedings American Academy* 16, 458 (1889); O. Glasser, *Dr. W. C. Röntgen* (Berlin:Springer, 1959) (İkinci baskı: Springfield, Illinois, C. C. Thomas (1972); E. Broda, *Ludwig Boltzmann Mensch, Physiker, Philosoph* (Viyana: F. Deuticke, 1955); Lord Rayleigh, *The Life of J. J. Thomson, O. M.* (Cambridge: Cambridge University Press, 1943); R. J. Strutt, Fourth Baron Rayleigh, *Life of J. W. Strutt, Third Baron Rayleigh, O. M., F. R. S.* (Madison, Wisc.: University of Wisconsin Press, 1968); G. L. De Haas-Lorentz, ed., *H. A. Lorentz-Impression of His Life and Work* (Amsterdam: North- Holland, 1957); J. J. Thomson, *Recollections and Reflections* (Londra: G. Bell and Sons, 1936). G. P. Thomson, *J. J. Thomson and The Cavendish Laboratory in His Day* (Londra: Nelson, 1967); R. A. Millikan, *The Electron* (Şikago: The University of Chicago Press, 1963); R. Vallery-Radot, *The Life of Pasteur* (Garden City, N. Y.: Garden City Publishing Company, 1937); R. Willstaetter, *From My Life* (New York: W. A. Benjamin, 1965).

D. L. Anderson, *The Discovery of the Electron* (New York: Van Nostrand Reinhold, 1964), bu bölümde tartıştığımız birçok temel konuyu özetlemektedir. Fiziğin ekonomik ve parasal temeli P. Forman, J. L. Heilbron ve S. Weart, *Physics circa 1900-Personnel Funding and Productivity of the Academic Establishment*, in *Historical Studies in the Physical Sciences*, 5 cilt (Princeton, N. J.: Princeton University Press, 1975) adlı kitapta irdelenmektedir.

2: H. Becquerel, Curieler ve Işımaetkinliğin Bulunuşu

Becquerel için *Comité du Patronage du Cinquantenaire de la Découverte de la Radioactivité* (Paris: Ecole Polytechnique, 1946) adlı kitaba başvurulabilir.

Curielerin araştırmaları için: P. Curie, *Oeuvres de Pierre Curie* (Paris: Gauthier-Villars, 1908); I. Joliot-Curie, ed., *Oeuvres de Marie Sklodowska Curie* (Varşova: Pañstwowe Curielerin yaşamöyküleri için ise; M. Curie, *Pierre Curie* (Paris: Payot, 1924; İngilizce çevirisi, New York: Dover, 1963); Eve Curie, *Madame Curie* (New York: Doubleday, 1949); A. Langevin, *Paul Langevin, mon père; l'homme et l'oeuvre* (Paris: Editeurs Français Réunis, 1971).

Işımaetkinliğin genel bir tarihçesi için de A. Romer, ed., *The Discovery of Radioactivity and Transformation* (New York: Dover, 1960) yararlı olabilir.

3 : Rutherford Yeni Dünya'da: Ögelerin Dönüşümü

Bu bölüm için temel kaynaklar şunlardır: E. Rutherford, *The Collected Papers of Lord Rutherford of Nelson, under the Scientific Direction of Sir James Chadwick* (New York: Interscience, 1962-1965): cilt 1, *New Zealand-Cambridge-Montreal;* cilt 2, Manchester; cilt 3, *The Cavendish Laboratory*. Bu dizi, konuya ilişkin tarihsel makaleleri de içermektedir. Rutherford'un resmi yaşamöyküsü A. S. Eve, *Rutherford* (Cambridge: Cambridge University

Press, 1939). Ayrıca L. Badash, ed., *Rutherford and Boltwood, Letters on Radioactivity* (New Haven: Yale University Press, 1969) ve O. Hahn, *Vom Radiothor zur Uranspaltung: eine wissenschaftliche Selbsbiographie* (Braunschweig: F. Vieweg, 1962).

4: Planck, Arzulanmamış Devrim: Paketçik Düşüncesi

Isıldinamikle ilişkili konular için L. P. Wheeler, *J. W. Gibbs: The History of Great Mind* (New Haven: Yale University Press, 1951) adlı kitap yararlı olabilir.

Bu bölümün temél kaynak kitaplarından biri şudur, M. Planck, *Physikalische Abbandlungen und Vorträge* 3 cilt. (Braunschweig: Vieweg, 1958). Konuya ilişkin tarihsel değerdeki makaleler, 3. cilttedir.

Karacisim araştırmalarının tarihi için, H. Kangro, *Early History of Planck's Radiation Law* (New York: Crane Russak, 1976); A. Hermann, *Genesisi of Quantum Theory* (Cambridge, Mass.: MIT Pres, 1971); T. J. Kuhn, *Black Body Theory and the Quantum Discontinuity 1894-1912* (Oxford: Clarendon Press, 1978).

Solvay Council toplantıları için de, M. de Broglie, *Les Premiers Congrès de Phsique Solvay* (Paris: A. Michel, 1951).

5: Einstein - Düşünmenin Yeni Yolları: Uzay, Zaman, Görelilik ve Paketçikler

Einstein'ın çalışmalarının tümü henüz bir araya getirilmiş değildir. Tam olmasa da, göreliliğe ilişkin kaynaklardan biri şudur A. Einstein, H. A. Lorentz, H. Minkowski ve H. Weyl, *The Principle of Relativity, A Collection of Original Memoirs on the Special and General Theory of Relativity with Notes by A. Sommerfeld* (New York: Dover, 1952).

Var olan çok sayıdaki yaşamöykülerinden hiçbiri kesin sayılamaz. En iyilerinden birkaçı şunlardır: B. Hoffmann and H. Dukas, *Albert Einstein, Creator and Rebel* (New York: Viking Press, 1972); C. Selig, ed., Helle Zeit, dunkle Zeit- In memoriam A. Einstein (Zurich: Europa, 1976); R. W. Clark; *Einstein: The Life and Times* (New York: World Publishing Co., 1971). Daha ilginç özyaşamsal çizgiler içereni ise, P. A. Schilpp, ed., *Albert Einstein, Philosopher- Scientist* (La Salle, III.: The open Court, 1949).

Einstein'ın paketçik kuramına katkısı için, *Reviews of Modern Physics* 51, 861 (1979)'de, A. Pais'in yazdığı "Einstein and the Quantum Theory" başlıklı makale yararlı olacaktır. Sommerfeld, Born ve Besso ile yazışmalar da epeyce aydınlatıcıdır: Bknz. A. Hermann, ed., *Albert Einstein-Arnold Sommerfeld Briefwecshel* (Basel: Schwabe, 1968), A. Einstein, *The Born-Einstein Letters* (New York: Waller & Co., 1971); A. Einstein, A. *Einstein and Michele Besso Correspondence* 1903-1955 (Paris: P. Speziali, 1972).

Einstein'ın yakın arkadaşı olan Ehrenfest hakkındaki inceleme de aydınlatıcıdır: M. J. Klein, *Paul Ehrenfest* (Amsterdam: North Holland, 1970).

Michelson için bknz. D. Michelson Livingston, *The master of Light: A Biography of A. A. Michelson* (New York: Scribnes, 1973).

6: Sir Ernest ve Nelson'lu Lord Rutherford

Manchester dönemine ilişkin temel kaynak kitap, *The Collected Papers of lord Rutherford*, cilt 2 (New York: Interscience, 1962-1965)'dır. Ayrıca, bknz., Rutherford, Bohr, Moseley ve daha birçok başka fizikçilerin makalelerini içeren, J. B. Briks, ed., *Rutherford at Manchester* (London: Benjamin, 1962).

Cambridge dönemi için bknz. *The Collected Papers of Lord Rutherford,* 3. cilt. Ayrıca bknz., Sir M. Oliphant, *Rutherford, Recollections of Cambridge Days* (Amsterdam: Elsevier, 1972) ve P. L. Kapitza, "Recollections of Lord Rutherford," *Nature* 210, 780 (1966).

7: Bohr ve Atom Modelleri

Bohr'un çalışmalarını içeren ilk ciltler yayınlanmıştır: L. Rosenfeld, ed., *N. Bohr : Collected Works* (Amsterdam: North Holland, 1972).

İlk elden bilgilere dayanarak yazılmış ve Bohr'un karmaşık kişiliğinin birçok yönünü ortaya koyan çok önemli bir belge; S. Rozental, ed., Niels Bohr, *His Life and Works as Seen by His Friends and Colleague*s (Amsterdam: North Holland, 1972).

X-ışınları için bknz. P. P. Ewald ed., *50 years of X-ray Diffraction* (Utrecht: Oosthoek, 1962); W. L. Bragg, *The Development of X-ray Analysis* (New York: Hafner, 1975); G. M. Carol, William Henry Bragg, *Man and Scientist* (Cambridge University Press, 1978); S. K. Allison, "A. H. Compton, a biographical memoir," The National Academy of Sciences of the United States'de, *Biographical Memoirs* 38, 81 (1965).

Moseley için bknz., J. Heilbron, *H. G. Moseley : The Life and Letters of an English Physicist, 1887-1915* (Berkeley: University of California Press, 1974). Sommerfeld için yazılmış en iyi makalelerden biri; M. Born, *Ausgetwählte Abhandlungen* (Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht, 1963)'de yer alan "Arnold Johannes Wilhelm Sommerfeld, 1868-1951," başlıklı makaledir.

Elektronun dönüşü için bknz. M. Fierz ve V. F. Weisskopf, eds., *Theorethical Physics in the Twentieth Century, A Memorial Volume to Wolfgang Pauli* (New York: Interscience, 1960)'da yer alan R. Kronig, "The turning point"; S. A. Goudsmit, "Pauli and nuclear spin," *Physics Today 14,* (Haziran, 1961); S. A. Goudsmit, "It might as well be spin," ve G. E. Uhlenbeck, "Personal reminiscences," *Physics Today 29,* (Haziran 1976).

F. Hund, *Geschichte der Quantentheorie* (Mannheim: Bibliographisches Institut, 1967), model kurmanın tarihini, etkin bir katılımcısının kaleminden sunmaktadır.

Otto Stern için bknz. The National Academy of Sciences of the United States, *Biographical Memoirs 43*, 215 (1973)'de yer alan E. Segrè, "Otto Stern. A biographical memoir".

Pauli için, önce bknz. R. Kronig ve V. F. Weisskopf, eds., *Collected Scientific Papers by*

Pauli (New York: Wiley Intersciences, 1964); ayrıca, M. Fierz ve V. F. Weisskopf, eds., *Theorethical Physics in the Twentieth Century.*

8: Sonunda Doğru Paketçik Devinbilimi

M. Jammer, *The Conceptual Development of Quantum Mechanics* (New York: McGraw-Hill, 1966) adlı yapıta ek olarak bknz. B. L. Van der Waerden, ed., *Sources of Quantum Mechanics* (New York: Dover, 1968).

De Broglie için bknz. Louis de Broglie, *Physicien et Penseur*, (Paris: Albin Michel, 1953).

Heisenberg için bknz. özyaşamı: W. Heisenberg, *Physics and Beyond; Encounters and Conversations* (New York: Harper & Row, 1971) ve ayrıca D. Irving, The Virus House (London: Kimber, 1967).

Pauli için bknz. Bölüm 7'deki Özyaşamı.

Dirac için bknz. *History of the 20th Century Physics, Proceedings of International School of Physics, Course 57* (New York: Academic Press, 1977)'de yer alan P. A. M. Dirac, "Recollections of an exciting era".

Born için bknz. M. Born, *Ausgewählte Abhandlungen* (Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht, 1963) ve M. Born, *My Life: Recollections of a Nobel Laureate* (New York: Scribner, 1975).

Paketçik devinbilimin kurucularının bilimsel çalışmalarını özetleyen bazı klasik kitaplar şunlardır: W. Heisenberg, *Physical Principles of the Quantum Theory* (New York: Dover, 1930); Geiger ve Scheel, eds., *Handbuch der Physik,* cilt 24/1 (Berlin: Springer, 1933)'de yer alan W. Pauli, "Die allgemeinen Prinzipien der Wellenmechanick"; P. A. M. Dirac, *The Principles of Quantum Mechanics* (Oxford: Clarendon Press, 1930); P. Jordan, *Anschauliche Quantentheorie, Eine Einführung in die Moderne Auffassung der Quantenerscheinungen* (Berlin: Springer, 1936); E. Schrödinger, *Collected Papers on Wave Mechanics* (London: Blackie and son, 1928).

Bohr ile Einstein arasındaki bilgi kuramına ilişkin tartışmalar için bknz. P. A. Schilpp, ed., *Albert Einstein, Philosopher-Scientist* (La Salle, III.: The Open Court, 1949)'da yer alan N. Bohr, "Discussions with Einstein on epistemological problems in atomic physics". Konunun başka yönleri de Bölüm 5 için verilen Kaynakçadaki Born-Einstein yazışmalarında bulunabilir.

S. Rozental, ed., Niels Bohr, *His Life and Works as Seen by His Friends and Colleagues* (Amsterdam: North Holland, 1967) Heisenberg, Pauli ve başkalarınca temel konular ve Kopenhag "ruhu" üzerine yazılmış açıklamaları içermektedir. Ayrıca, Schrödinger'in eleştirileri için bknz.: K. Przibram, *Briefe zur Wellenmechanick* (Vienna: Springer, 1963). T. S. Kuhn, J. L. Heilbron, P. L. Forman ve L. Allen, *Sources for History of Quantum Physics* (Philadelphia: The American Philosophical Society, 1967), derin araştırmalar için mutlaka yararlanılması gereken bir başvuru kitabıdır. Kopenhag'ın Faust'unun İngilizce çeşitlemesi için bknz. G. gamow, *Thirty Years that Shook Physics* (New York: Doubleday, 1966).

9: Harika Yıl 1932 : Nötron, Pozitron, Döteryum ve Diğer Buluşlar

O. M. Corbino, "I nuovi compiti della fisica sperimentale," makalesi Atti della Società Italiana per il Progresso delle Scienze 18, 1157 (1929) (çevirisi Minerva 9, 528 (1971).

Nötronun keşfi için bknz.: F. and I. Joliot-Curie, *Oeuvres scientifiques complètes*

(Paris: Presses universitaries de France, 1961); J. Chadwick, "Possible existence of a neutron," Nature 129, 312 (1932); J. Chadwick, "Some personal notes on the search for neutron." Ithaca, N.Y., Proceedings of the X International Congress of History of Science (1962) (Paris: Hermann, 1964).

C. D. Anderson'un sürekli çalıştığı California Institute of Technology hakkında bilgi için bknz. R. A. Millikan, *Autobiography* (Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall, 1950); C. D. Anderson, "The positive electron," *Physical Review 43*, 491, (1933).

Majorana için bknz. A. Zichichi, ed., *Strong and weak Interactions* (New York: Academic Press, 1966)'da yer alan E. Amaldi, "Ettore Majorona, man and scientist".

Yedinci Solvay Council görüşmeleri, *Comptes-rendus du 7 e Conseil de Physique Solvay* (Paris: Gauthier-Villars, 1934)'de basılmıştır. Çekirdek fiziğinin Ekim 1933'deki durumunu tam olarak yansıtmaktadır.

Döteryum için bknz. H. C. Urey, F. G. Brickwedde ve G. M. Murphy, "A hydrogen isotope of mass 2 and its concentration," *Physical Review 40* , 1 (1932).

10: Enrico Fermi ve Çekirdek Enerjisi

Fermi için önce bknz. E. Segrè, ed., *The Collected Papers of Enrico Fermi* (Chicago: University of Chicago Press, 1962). Orada, çok geniş tarihsel değerde yaşamöyküsel bilgi de bulabilirsiniz. Laura Fermi, *Atoms in the Family* (Chicago: University of Chicago Press, 1954). E. Segrè, *Enrico Fermi, Physicist* (Chicago: University of Chicago Press, 1970); "Memorial Symposium in honor of E. Fermi at the Washington Meeting of the American Physical Society, April 29, 1955,"*Reviews of Modern Physics 27*, 253 (1955).

Atom parçalanmasının keşfi için bknz. O. Hahn , *Vom Radiothor zur Uraspaltung: eine wissenschaftliche Selbstbiographie* (Brunschweig: F. Vieweg. 1962); S. Rozental, ed., *Niels Bohr, His Life and Works as Seen by His Friends and Colleagues* (Amsterdam: North Holland, 1957)'de yer alan O. Frisch, "The interest is focussing on the atomic nucleus,"; O. Frisch, *What Little I Remember* (Cambridge: Cambridge University Press, 1979).

Rasetti için bknz. *The Johns Hopkins Magazine* 17-4, 12 (1966)'da ter alan T. Nason, "A man for all sciences".

Szilard için bknz. *Perpectives in American History* cilt 2'de yer alan, G. W. Szilard ve K. R. Winsor, eds., "Reminiscences of Leo Szilard," ve L. Szilard *His Version of the Facts* (Cambridge, Mass.: MIT Press, 1978).

Yapay ögeler için bknz. E. Segrè, *I nuovi elementi chicimi. Chimica nucleare alle alte energie* (Roma: Accademia Nazionale dei Lincei, 1953). 1930ların çekirdek fiziğinin genel görünüşü, *Nuclear Physics in Retrospect* R. H. Stuewer, ed. (Minneapolis: University of Minesota Press, 1979)'da bulunabilir.

Atom enerjisi ve bombası hakkında, tümü güvenilir olmasa da, çok çeşitli kaynak vardır. En güvenilir olanlarından bazıları şunlardır: H. D. Smyth, *Atomic Energy for Military Purposes* (Princeton, N. J.: Princeton University Press, 1945); R. G. Hewlett ve O. E. Anderson, Jr., *The New World*, 1943-1946 (University Park: The Pensilvania University Press, 1962); D. Irving, *The Virus House* (London: Kimber, 1967); E. Bagge, K. Diebner, K. Jay, *Von der Uranspaltung bis Calder Hall* (Hamburg: Rowolht, 1957); S. A. Goudsmit, Alsos (New York: Henry Schuman, 1947); M. Gowing, *Britain and Atomic Energy* (London: St. Martin's Press, 1974); N. I. Golovin, *I. V. Kurchatov. A Socialist-Realist Biography of the Soviet Nuclear Scientist* (Bloomington, Ind.: Selbstverlag Press, 1968); A. K. Smith, *A Peril and A Hope* (Chicago: University of Chicago Press, 1965).

J. Robert Oppenheimer hakkında çeşitli yazarlar acımasızca yapıtlar kaleme almışlardır. En iyi kaynaklardan biri olan, *In the matter of J. R. Oppenheimer, Transcripts of a Hearing before Personnel Security Board, Washington, April 12, 1954, through May 6, 1954* (Washington, D. C., Printing Office, 1954) da, kullanılmadan önce önemli bir bilgi birikimini zorunlu kılmaktadır. Başvurulabilecek kitaplar arasında şunlar önerilebilir: P. Michelmore, *The Swift Years-The R. Oppenheimer Story* (New York: Dodd, Mead, 1969); D. Royal, *The Story of J. Robert Oppenheimer* (New York: St. Martin's Press, 1969). H. York, *The Advisors: Oppenheimer, Teller, and the Suprbomb* (San Francisco: W. H. Freeman and Company, 1976), hidrojen bombası konusunda kopan politik fırtınaların aydınlatıcı bir açıklamasını vermektedir.

Ayrıca bknz. J. S. Duprè ve S. A. Lakoff, *Science and the Nation* (Englewood Cliffs, N. J.: Prentice Hall, 1962). R. E. Marshak, ed., *Perspectives in Modern Physics* (New York: Interscience, 1966)'da yer alan S. M. Ulam, "Thermonuclear devices".

John von Neumann hakkında, bknz., *Perspectives in American History,* cilt 2 (Cambridge, Mass.: Harvard University, 1968)'de yer alan S. M. Ulam, H. W. Kuhn, A. W. Tucker ve C. E. Shannon, "John von Neumann, 1903-1957".

11 : E. O. Lawrence ve Parçacık İvmelendiricileri

1935'e dek olan çok düşük sıcaklıklardaki araştırmaların kısa bir tarihi, M. Ruhemann ve B. Ruhemann, *Low Temperature Physics* (London: Cambridge University Press, 1937); ayrıca bknz. K. Mendelssohn, *Quest for Absolute Zero* (New York: McGraw-Hill, 1966).

İvmelendiriciler hakkında iyi bir tarihsel irdeleme E. Segrè, ed., *Experimental Nuclear Physics* cilt 3 (New York: John Wiley and Sons, 1959)'da yer alan E. M. McMillan, "Particle accelartors" başlıklı makalede ve M. S. Livingston, *Particle Accelerators: A Brief History* (Cambridge, Mass.: Harvard University Press) adlı kitapta bulunabilir.

E. O. Lawrence için şu kaynaklar önerilebilir: *The National Academy of Sciences of the United States, Biographical Memoirs 41* , 251, (1970)'de yer alan L. W. Alvarez, "Ernest Orlando Lawrence. *A Biographical Memoir*" başlıklı makale ve H. York, *The Advisors: Oppenheimer, Teller, and the Suprbomb* (San Francisco: W. H. Freeman and Company, 1976).

CERN tarihi için bknz.: M. Conversi, ed., *Evolution of Particle Physics. A Volume Dedicated to Edoardo Amaldi on his Sixtieth Birthday* (London: Academic Press, 1970); *Proceedings of International School of Physics, Course 57*, (New York: Academic Press, 1977) içinde yer alan E. Amaldi, "First International Collaboration between Western European Countries".

12: Çekirdeğin Ötesi

Batı fiziğinin Japonya'ya girişi için bknz. *Historicl Studies in the Physical Sciences 6, 3* (1975)'de yer alan K. Koizumi, "The emergence of Japan's first physicists: 1868-1900".

Yukawa için bknz. *American Journal of Physics 18*, 154 (1950)'de yer alan

H. Yukawa ve K. Chihiro, "Birth of the meson theory," başlıklı makale. Occhialini için bknz. *Simposio in onore di Giuseppe Occhialini per il XX anniversario del suo ritorno in Italia. Seminario Matematico e Fisicio di Milano* (Pavia: Editrice Succ. Fusi, 1969).

Eşdeğerliğin korunmadığının keşfi, C. S. Wu ve arkadaşlarınca, *Adventures in Experimental Physics 3* , 93 (1974)'de anlatılmaktadır. Pauli'nin eleştirisi için bknz. R. Kronig ve V. F. Weisskopf, eds., *Collected Scientific papers by W. Pauli* (New York: Wiley Interscience, 1964).

C. N. Yang'ın kaleme aldığı *Elementary Particles, a Short History of Some Discoveries in Atomic Physics* (Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1962) adlı kitap, parçacık fiziğine temel giriştir.

Rochester Konferansları'nın ilginç tarihi ise, R. E. Marshak, "The Rochester Conferences," *Bulletin of Atomic Scientists* (June 1970)'de anlatılmaktadır.

Bazı Japon fizikçilerin görüşleri içeren makaleler, S. Sakata, *Scientific Works* (Tokyo: Publication Committee of Scientific Papers of Prof. S. Sakata, 1977)'de bulunabilir. Daha genel bir bakış açısı için Y Elkana, ed., *The Interaction between Science and Philosophy* (Atlantic Highlands, N.J.: Humanities Press, 1974)'de yer alan Y. Ne'eman, "Concrete versus abstract theorethical models," önerilebilir.

İki nötrino türü için bknz. *Adventures in Experimental Physics 1*, 81 (1972)'de yer alan L. Lederman ve arkadaşlarınca yazılan "Discovery of two kinds of neutrinos" başlıklı makale.

13: Yaşlı Gövdenin Yeni Dalları

Daha yakın yıllardaki bazı keşiflerin tarihi *Les Prix Nobel* (Stockholm: Norstedt & Söner, 1902-)'de bulunabilir

Modern elektrodinamik tarihinin bir bölümü için bknz. *Les Prix Nobel en 1965* (Stockholm: Norstedt & Söner, 1966)'de yer alan R. P. Feynman, "The development of the space-time view of quantum electrodynamics" ve F. Dyson, *Disturbing the Universe: A Life in Sci-*

ence (New York: Harper and Row, 1979).

Laserler ve mazerler için de B. Kursunoğlu ve A. Perlmutter, eds., *Impact of Basic Research on Technology* (New York: Plenum Press, 1973)'de yer alan A. L. Schawlow, "From maser to laser".

Çekirdek fiziği için C. Weiner, ed., *Exploring the History of Nuclear Physics* (New York: American Institute of Physics, 1972); R. H. Stuewer, ed., *Nuclear Physics in Retrospect* (Minneapolis: University of Minesota Press, 1979); H. D. Jensen, "The history of the theory of the atomic nucleus," Science 147, 419 (1965); *Les Prix Nobel en 1963* (Stockholm: Norstedt & Söner, 1966)'de yer alan M. Goeppert-Meyer, "The shell mpdel,"; E. Segrè, "Artificial radioactivity and the completion of the periodic system," *The Scientific Monthly 57*, 12 (1943); G. T. Seaborg ve E. Segrè, "The Transuranium elements," *Nature 159* , 863 (1947); G. T. Seaborg ed., *Transuranium Elements* (Stroudsburg: Perma, Dowder, Hutchinson & Ross, 1978).

Mössbauer etkisi için, bknz. H. Frauenfelder, *The Mössbauer Effect* (New York: Benjamin, 1962), giriş bölümü.

Büyük ölçekli paketçik etkileri için bknz. C. J. Gorter, "Superconductivity until 1940 in Leiden and as seen from there," *Reviews of Modern Physics 36*, 3 (1964); K. Mendhelssohn, *Quest for Absolute Zero* (New York:McGraw Hill, 1966); P. W. Anderson, "How Josephson discovered his effect," *Physics Today* (November 1970); P. W. Anderson, J. M. Rowell, S. Shapiro ve D. Lauderberg, "Observation of Josephson effect and measurement of h/e," *Adventures in Experimental Physics 3*, 45 (1973).

Transistör için bknz. W. Brattain ve arkadaşları, "Discovery of the transistor effect," *Adventures in Experimental Physics* 5, 1 (1976).

Gökbilim alanındaki son buluşların yarı bilimsel açıklaması için bknz. S. Weinberg, *The First Three Minutes* (New York: Basic Books, 1977) H. Bethe'nin özyaşamsal çizgileri için bknz., J. Bernstein *The New Yorker*, December 3,10 ve 17, 1979.

Bir grup uzman gözlemcinin gözüyle çağdaş fiziğin çeşitli alanlarındaki araştırmalar şu yapıtta sergilenmiştir; A. D. Bromley, *Physics in Perspective* (Washington D.C.: The National Academy of Sciences, 1972). Ne var ki bu görüşler, evrensel olarak paylaşılmamıştır.

Molekülsel yaşambilim için kişisel bir yaklaşım olan J. D. Watson, *The Double Helix* (New York: Atheneum, 1968); R. Olby, "Francis Crick, DNA and central dogma," Daedalus 939 (1970) başvuru kitapları olabilir.

14: Sonuçlar

Fizikçiler, özellikle de yaşlı kuşaktan olanlar arasındaki görüşmeler, bu bölümün ana konusuyla yakından ilgilidir Gençler ise, gerçekler yardımıyla onları yanlışlamaya çalışırken, farkında olmadan doğrulamaktadırlar, Einstein'ın söylediği gibi:

Kuramsal fizikçilerden, kullandıkları yöntemler hakkında birşeyler öğrenmeye ça-

BÖLÜNME ve BİRLEŞME : Fission and fusion (of atoms, or nuclei)

Atom çekirdeklerinin, çeşitli tepkimeler sonucunda bölünerek daha küçük çekirdeklere ya da küçük çekirdekli hidrojen gibi atomların birleşerek helyum gibi daha büyük çekirdeklere dönüşmesi. Her iki durumda da bir miktar kütle enerjiye dönüşür.

BROWNGİL DEVİNİM : Brownian motion

Bknz. s. 88

BÜTÜNLEYİCİLİK : Complementarity

Dalga-özdek,özdek-enerji gibi 20.yüzyıla dek birbirinden ayrı ve hatta uzlaşmaz sanılan kimi fiziksel özellikler arasında hemen hiç ayrım bulunmadığı, daha doğrusu bunların aynı niteliklerin bir birini bütünleyen değişik görüngüleri olduğu düşüncesi. (Ilk kez N. Bohr tarafından, nesnelerin özdek ve dalga özelliklerine ilişkin olarak ilcri sürülmüştü.)

DIŞINDA TUTMA İLKESİ : Exclusion principle

Herhangi bir enerji düzeyinde, birden çok sayıda elektron ve benzer türde 1/2 bükümlü (=spin) parçacık bulunamayacağı ilkesi. (Büküm, enerji ayrılığı yaratmıyorsa; aynı enerji düzeyinde iki elektron bulunabilir.)

DÖNÜŞÜM : Transmutation (of elements)

Doğal ya da yapay yollardan, özdek öge(=element)lerinin atom numarası (proton sayısı) ya da bazen nötron sayısı değişikliği ile başka türlere dönüşmesi.

ESİR : Ether

Yunanca kökenli olup dilimize Arapça'dan geçen bu sözcük, atomlar arasındaki boşluğu ve tüm evreni doldurduğu, ağırlığı olmadığı ama ısı ve ışığı ilettiği varsayılan töz anlamı taşımaktadır. Ancak, Einstein'in Özel Görelilik Kuramı ile, fizikte bu varsayıma gerek (yer) olmadığı sonucuna varılmıştır.

EŞDEĞERLİK : Parity

Fonksiyonların bazı bakışım (=simetri) özelliklerine ilişkin bir deyim.

$f(-x,-y,-z) = -f(x, y, z)$ ise tek, $f(-x,-y,-z) = f(x, y, z)$ ise çift eşdeğerlikten söz edilebilir.

EŞİLLİK : Isotopy

Atomların numarası (proton sayısı) aynı iken, ağırlığının (nötron sayısının) ayrı olma durumu.

GİRİŞİM IZGARASI : Diffraction grating

Izgara biçimli ve çizgi aralıkları ışık dalgaboyuna yakın değerde olan fizik aracı. Üzerine düşen ışığı, her çizgisinden yansıtıp girişime uğramasına yol açtığından dalgaboyu ölçümlerinde kullanılır.

IŞIMAETKİNLİK : Radioactivity; radiation=ışıma, activity=etkinlik.

Atom parçalanması, birleşmesi ve bozunması sırasında ortaya çıkan özdeksel (=maddi) ve dalgasal ışıması.

İŞLİK : Laboratory

Çalışılan, iş görülen herhangi bir yer, laboratuvar.

KARACİSİM : Blackbody

Sahip olduğu ısı nedeniyle ve kütlesinin tümünden ışıma yayan cisimleri tanımlamakta kullanılan deyim. (Örneğin; fırın, sönmüş olsa da içindeki ısı nedeniyle ışıma yaymayı sürdürür. Ne var ki bu türden bir ışıma gözle pek ayırt edilemez.)

KUTUPLANMA : Polarization

Genel anlamı 'bir noktaya doğru yönelme'dir. Örnek biraz aykırı kaçacak ama; sürüdeki koyunların rasgele dağılmışken bir sese yönelmelerinde ya da otlarken tümünün de birbirine koşut (güneşin arkada olacak biçimde) durmaları gibi ışık, elektrik ve benzeri olgularda çeşitli nedenlerle ortaya çıkan yön seçicilik.

LAZER : Laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)

Uyarılmış Işınım Yayımıyla Işık Yükseltilmesi. Bknz. s. 96, 109, 164, 276.

MAZER : Maser (Microwave -ya da Molecular-Amplification by Stimulated Emision of Radiation)

Uyarılmış Işınım Yayımıyla Mikrodalga Yükseltilmesi [Moleküler Yükseltme].

ÖZGÜRLÜK ÖLÇÜTÜ : Degree of freedom

Herhangi bir cismin deviniminin kaç ayrı ve birbirinden bağımsız bileşene ayrılabileceğinin ölçütü. Örneğin; serbest noktasal bir tanecik, uzayın x-, y-, ve z-eksenleri boyunca olmak üzere, üç ayrı yönünde de ilerleyebilir ya da devinimi bu üç yöndeki bileşenlere ayrılabilir. Bu nedenle de, serbestce ilerleyen bir taşın özgürlük ölçüt sayısı (=number of degrees of freedom) 3'tür. Oysa, ucuna ip bağlı bir taş çevrildiğinde, devinimi bir yönde kısıtlandığı için özgürlük ölçüt sayısı 2'ye iner. Cisim düz bir çizgi üzerinde ilerliyor ise, bu sayı 1'e eşittir. Ayrıca, cisimler, oylumlu olup olmadıklarına bağlı olarak, kendi eksenleri çevresinde dönümsel (=rotational) devinim de yapabilirler.

Örneğin bir futbol topu ilerlerken herhangi bir ekseni çevresinde dönebilir de. Bu durumda devinimin özgürlük ölçüt sayısı 6 olur. İnce bir çubuk ise, ancak iki ekseni boyunca dönümsel devinim yapabileceğinden (daha doğrusu, içinden geçen eksen boyunca yapacağı dönümsel devinimin enerji karşılığı ötekilere göre çok küçük olacağından) özgürlük ölçüt sayısı 5'e eşit olur Özgürlük ölçütü açısından, bir gaz atomu futbol topuna benzerken, iki atomlu bir molekülün devinimi çubuğunkini andırır. Bir başka devinim biçimi de salınımdır (=oscillation). Örneğin iki atomlu bir molekül, ilerleme ve dönümün yanısıra, atomlar arasındaki bağ nedeniyle birbirine göre salınabilir de. Bütün bunlardan hangilerinin etkin olduğuna bağlı olarak, devinimin özgürlük ölçüt sayısı değişir.

Örneğin, taşı bir ipe değil de bir yayın ucuna bağlayıp çevirirsek, devinimin özgürlük ölçüt sayısı 3 olur. İpin ucuna taş yerine dönmekte olan bir topaç ilişkin tirdiğimizde sayı 3'e eşittir. Ama, topacı ip yerine bir yayın ucuna bağlamış olsaydık, bu sayı 4'e çıkardı...

PAKETÇİK : Quantum

Enerji, momentum gibi bazı fiziksel olguların alış verişinde ortaya çıkan en küçük değer. (Bu değer, evrensel olmayıp koşullara bağlı olarak değişmektedir. Örneğin f titreşim frekanslı ışık gibi bir elektromanyetik dalganın taşıdığı enerji, herhangi bir değere değil ancak $E = hf$'ye eşit olabilmektedir. Burada h, Planck değişmezidir ve yaklaşık 6.63×10^{-34} J.s'ye eşittir. Görüldüğü üzere söz konusu dalganın enerji paketçikleri çok küçüktür, bu nedenle de günlük olaylar sırasında ayırt edilemezler.)

PAKETÇİK FİZİĞİ : Quantum Physics

Enerji, momentum gibi bazı fiziksel olguların (ya da bunların alışverişinin) sürekli (=continuous) değil, parçalı olduğu temeline dayalı ve bu etmenin önem kazandığı dalgaları ve çok küçük özdek parçacıklarını inceleyen fizik dalı.

PİYON : Pion

Bir parçacık türü.

POZİTRON : Positron

Elektriksel yük (=charge) dışında, diğer tüm özellikleri elektrona özdeş olan parçacık, elektronun karşıt (=anti) parçacığı. (Karşıt parçacıkların, zamanda geriye doğru gittiği sanılmaktadır.)

SESELİM : Resonance

Ses gibi mekanik ya da elektromanyetik bir dalganın uyarmasıyla, herhangi bir nesnenin aynı frekansta dalga yayması. Nesnenin hangi frekansta seselime uğrayacağı, üstüne çarpan dalganın değil, nesnenin fiziksel özelliklerince belirlenir.

SİKLOTRON : Cyclotron

Parçacıkları bir merkez çevresinde dolandırarak ivmelendiren aygıt, döndüreç .

(Bknz. İVMELENDİRİCİ; ayrıca, öteki ivmelendirici türleri için Bknz. s. 237.)

TANITLAMA : Demonstration

Sonucu bilinen olay ve olguları bilmeyenlere gösterme amacıyla herhangi bir işlemin yinelenmesi.